

MAGALI RIBEIRO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA  
E NUTRICIONAL DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*  
Hill ex. Maiden SUBMETIDAS A DIFERENTES  
NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE  
A FASE DE RUSTIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, Setor de  
Ciências Agrárias, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Nogueira

CURITIBA

1998



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **MAGALI RIBEIRO DA SILVA**, sob o título "**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA E NUTRICIONAL DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A FASE DE RUSTIFICAÇÃO.**", para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **SILVICULTURA**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com média final: (9,7), correspondente ao conceito: (A).

Curitiba, 21 de agosto de 1998

Prof. Dr. Carlos Marchesi de Carvalho  
Primeiro Examinador  
UNESP

Prof. Dr. José Geraldo de Araujo Carneiro  
Segundo Examinador  
U.E. Norte Fluminense

Prof. Dr. Antonio Carlos Nogueira  
Orientador e Presidente da Banca  
UFPR



## **Ofereço**

**À minha grande e maravilhosa família que representa para mim um porto alegre e seguro, sinônimo de união, companheirismo e amor.**

**Aos grandes e verdadeiros mestres que tive**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer é um ato fundamental durante nossa existência. É reconhecer que sozinhos não somos capazes de fazer quase nada, mas que com ajuda somos capazes de realizar quase tudo. Por isso gostaria de expressar minha gratidão a várias pessoas e instituições:

- À CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Ensino Superior) pela concessão da bolsa de estudos;
- À Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela oportunidade dada para o desenvolvimento do mestrado;
- À Faculdade de Ciências Agrônômicas (F.C.A.) da Universidade Estadual Paulista (UNESP - Campus de Botucatu), em especial ao Departamento de Ciências Florestais pelo desenvolvimento da parte experimental do trabalho, aos Departamentos de Engenharia Rural, de Solos e de Agricultura e Melhoramento Vegetal, e ao CINAG (Centro de Informática na Agricultura) por toda a infra-estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho;
- Ao Instituto de Floresta da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) especialmente ao Departamento de Silvicultura, por permitir a liberação parcial durante o desenvolvimento do trabalho, e a meus alunos que compreenderam e aceitaram os horários especiais das aulas;
- A meu orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Nogueira pela confiança depositada em mim, amizade e orientação no trabalho;

- A meu co-orientador Prof. Dr. Carlos Marchesi de Carvalho não só pela orientação neste trabalho, mas por ser um grande mestre e amigo, fundamental para minha formação profissional;
- A meu co-orientador Prof.Dr.Mario Takao Inoue por todas as sugestões dadas;
- Ao Prof.Dr.Carlos R.Sanketa pela ajuda nas soluções das dúvidas estatísticas;
- Aos técnicos dos vários Departamentos da UNESP, em especial ao Cláudio (Ciências Florestais) por todo o apoio e amizade, Vicente e Amauri (Eng.Rural), Dorival (Agricultura), Depiere (Solos), Hosana (CINAG) por toda a ajuda;
- À Prof. Roxy pela correção do Abstract;
- A meu irmão Salvador, por sempre estar presente e disposto a ajudar, incondicionalmente e com alto astral;
- Aos amigos que com amizade e trabalho colaboraram no desenvolvimento do experimento, em especial a Cristiane, Ana Cláudia, Fabiano e Éllen;
- Às amigas de república: Adriana, Celi e Rose pela ótima convivência;
- Aos novos amigos encontrados no curso: Marizete, Jane, Leonan, Otávio, Guilherme, Klaus, Ana, Adalberto, Danielle e Vilmar;
- À minha mãe Thereza, por todo o amor e dedicação, e por ensinar os valores que realmente são importantes na vida;
- A meus irmãos: Mercedes, Maria, João Roberto, Salvador, Margareth e Marco pelo carinho e força. Aos vários queridos sobrinhos;
- A meu pai (in memorian) que deve estar me protegendo de alguma forma;
- Sobre tudo agradeço a Deus por ter me dado a família e os amigos que tenho, e a força interior para superar os obstáculos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>01</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>04</b>
2.1 ÁGUA NA PLANTA .....	04
2.2 ESTRESSE HÍDRICO .....	08
2.3 QUALIDADE DA MUDA .....	14
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 LOCAL .....	18
3.2 ÉPOCA .....	19
3.3 ESPÉCIE .....	19
3.4 TESTE DE GERMINAÇÃO .....	20
3.5 ESTRUTURA FÍSICA .....	20
3.6 RECIPIENTES .....	21
3.7 ENCHIMENTO DE TUBETES .....	21
3.8 SEMEADURA .....	22
3.9 RALEAMENTO .....	23
3.10 ADUBAÇÃO .....	23
3.11 SELEÇÃO .....	24
3.12 RUSTIFICAÇÃO .....	24
3.13 TRATAMENTOS .....	24
3.14 SUBSTRATO .....	26
3.14.1 Caracterização física do substrato pelo método do Departamento de Ciências Florestais da F.C.A. ....	26
3.14.2 Caracterização física do substrato através da mesa de tensão de Richards .....	29
3.14.3 Caracterização física do substrato por meio da placa de pressão de Richards .....	30
3.14.4 Caracterização química do substrato .....	33
3.14.5 pH e condutibilidade elétrica .....	33
3.15 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....	35
3.16 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS .....	36
3.17 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS .....	37
3.18 PREPARO DO SOLO .....	38
3.19 PLANTIO .....	38
3.20 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....	40

4.1.1 Altura da parte aérea (H) .....	40
4.1.2 Diâmetro de colo da muda (D).....	43
4.1.3 Altura da parte aérea : diâmetro do colo da muda (H/D).....	44
4.1.4 Peso de matéria verde da parte aérea (PVA).....	45
4.1.5 Peso de matéria verde da parte radicial (PVR).....	46
4.1.6 Peso total de matéria verde (PVT).....	48
4.1.7 Peso de matéria seca da parte aérea (PSA).....	49
4.1.8 Peso de matéria seca da parte radicial (PSR).....	51
4.1.9 Peso total de matéria seca (MS).....	53
4.1.10 Relação peso total de matéria seca : peso total de matéria verde (MS:PVT) e (PVT:MS).....	54
4.1.11 Área foliar (AF).....	56
4.1.12 Peso específico foliar (PEF).....	59
4.2 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS .....	61
4.2.1 Clorofila .....	61
4.2.2 Potencial hídrico foliar .....	62
4.2.3 Transpiração .....	65
4.3 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS .....	70
4.3.1 Substrato .....	70
4.3.1.1 pH .....	70
4.3.1.2 Teor de Fósforo (P) .....	71
4.3.1.3 Teor de Potássio (K) .....	73
4.3.1.4 Teor de Cálcio (Ca) .....	74
4.3.1.5 Teor de Magnésio (Mg) .....	75
4.3.1.6 Teor de Ferro (Fe) .....	76
4.3.1.7 Teor de Manganês (Mn) .....	78
4.3.1.8 Teor de Cobre (Cu) .....	79
4.3.1.9 Teor de Zinco (Zn) .....	80
4.3.1.10 Teor de Boro (B) .....	81
4.3.2 Planta .....	82
4.3.2.1 Nitrogênio (N) .....	82
4.3.2.2 Fósforo (P) .....	83
4.3.2.3 Potássio (K) .....	85
4.3.2.4 Cálcio (Ca) .....	86
4.3.2.5 Magnésio (Mg) .....	88
4.3.2.6 Ferro (Fe) .....	89
4.3.2.7 Zinco (Zn) .....	91
4.3.2.8 Cobre (Cu) .....	92
4.3.2.9 Manganês (Mn).....	94
4.3.2.10 Boro (B) .....	95
4.4 SOBREVIVÊNCIA NO CAMPO .....	96
5 CONCLUSÃO .....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	101

## LISTA DE TABELAS

1. GRANULOMETRIA DO SUBSTRATO.....	29
2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SUBSTRATO PELO MÉTODO DA MESA DE TENSÃO DE RICHARDS.....	30
3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SUBSTRATO.....	33
4. ALTURA MÉDIA DA PARTE AÉREA (H) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	41
5. VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO DE COLO (D) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	43
6. MÉDIA DA RELAÇÃO ALTURA DA PARTE AÉREA : DIÂMETRO DE COLO (H:D) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	45
7. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA VERDE DA PARTE AÉREA (PVA) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	46



8. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA VERDE DA PARTE RADICIAL (PVR) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO .....	47
9. MÉDIA DO PESO TOTAL DE MATÉRIA VERDE (PVT) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	48
10. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA (PSA) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	50
11. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA SECA DA PARTE RADICIAL (PSR) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO .....	52
12. MÉDIA DO PESO TOTAL DE MATÉRIA SECA (MS) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	53

13. RELAÇÃO PESO TOTAL DE MATÉRIA SECA : PESO TOTAL DE MATÉRIA VERDE (MS:PVT) E PESO TOTAL DE MATÉRIA VERDE : PESO TOTAL DE MATÉRIA SECA (PVT:MS) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	55
14. ÁREA FOLIAR MÉDIA (AF) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	57
15. PESO ESPECÍFICO FOLIAR MÉDIO (PEF) DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO .....	60
16. MÉDIA DOS TEORES DE CLOROFILA DAS FOLHAS DA PARTE BASAL E MEDIANA DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	62
17. MÉDIA DO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, MEDIDO NO PONTO CORRESPONDENTE AO NÍVEL DE ESTRESSE HÍDRICO A QUE FOI SUBMETIDO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	63
18. ESTIMATIVA, ATRAVÉS DE PESAGENS, DA TRANSPIRAÇÃO DAS MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> , AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO.....	67

19. pH DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE .....	70
20. TEOR DE FÓSFORO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE ( $\mu\text{g}/100\text{ cm}^3$ de substrato).....	72
21. TEOR DE POTÁSSIO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE ( $\text{meq}/100\text{ cm}^3$ de substrato).....	73
22. TEOR DE CÁLCIO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE ( $\text{meq}/100\text{ cm}^3$ de substrato).....	75
23. TEOR DE MAGNÉSIO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE ( $\text{meq}/100\text{ cm}^3$ de substrato).....	76
24. TEOR DE FERRO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm).....	77

25. TEOR DE MANGANÊS DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm).....	78
26. TEOR DE COBRE DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm).....	79
27. TEOR DE ZINCO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm).....	80
28. TEOR DE BORO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm).....	81
29. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO (N) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%).....	82
30. QUANTIDADE TOTAL DE NITROGÊNIO (N) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg).....	83
31. CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO (P) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%).....	84
32. QUANTIDADE TOTAL DE FÓSFORO (P) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg).....	84
33. CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO (K) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%).....	85

34. QUANTIDADE TOTAL DE POTÁSSIO (K) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg).....	86
35. CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO (Ca) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%). ....	87
36. QUANTIDADE TOTAL DE CÁLCIO (Ca) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg).....	87
37. CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO (Mg) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%). ....	88
38. QUANTIDADE TOTAL DE MAGNÉSIO (Mg) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg).....	89
39. CONCENTRAÇÃO DE FERRO (Fe) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm) .....	90
40. QUANTIDADE TOTAL DE FERRO (Fe) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (µg). ....	90
41. CONCENTRAÇÃO DE ZINCO (Zn) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm) .....	91
42. QUANTIDADE TOTAL DE ZINCO (Zn) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (µg). ....	92
43. CONCENTRAÇÃO DE COBRE (Cu) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm) .....	93

44. QUANTIDADE TOTAL DE COBRE (Cu) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ ).....	93
45. CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS (Mn) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm) .....	94
46. QUANTIDADE TOTAL DE MANGANÊS (Mn) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ ).....	95
47. CONCENTRAÇÃO DE BORO (B) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm) .....	95
48. QUANTIDADE TOTAL DE BORO (B) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ ).....	96
49. SOBREVIVÊNCIA DAS MUDAS NO CAMPO.....	97

## LISTAS DE FIGURAS

1. CURVA DE TENSÃO-RETENÇÃO DE ÁGUA PELO SUBSTRATO.....	32
2. PERDA DE ÁGUA PELA PLANTA AO LONGO DO DIA.....	69

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivos avaliar os efeitos dos diferentes tratamentos de manejo hídrico, habitualmente utilizado durante a rustificação, na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, utilizando parâmetros morfológicos, fisiológicos e nutricionais. O ensaio envolveu também os efeitos da rustificação na sobrevivência das mudas no campo. O estresse hídrico sofrido pelas mudas foi determinado com base na tensão de retenção de água pelo substrato. Os tratamentos foram : mudas sem sofrer déficit hídrico durante a rustificação (permanentemente subirrigadas); mudas irrigadas ao atingir uma tensão de retenção de água pelo substrato de -0,05 MPa; mudas irrigadas ao atingir uma tensão de retenção de água pelo substrato de -0,1 MPa; mudas irrigadas ao atingir uma tensão de retenção de água pelo substrato de -0,5 MPa e mudas irrigadas ao atingir uma tensão de retenção de água pelo substrato de -1,5 MPa. As características morfológicas determinadas foram: altura da parte aérea, diâmetro do colo, pesos de matéria verde e de matéria seca da parte aérea, pesos de matéria verde e de matéria seca da parte radicial, pesos de matéria verde e de matéria seca total, área foliar e peso específico foliar. As características fisiológicas determinadas foram : clorofila, potencial hídrico no ponto correspondente ao estresse e transpiração. Os resultados obtidos indicam que o regime hídrico afetou muito a qualidade da muda. Todas as características morfológicas tiveram seus valores reduzidos proporcionalmente ao aumento do estresse hídrico aplicado. Quanto às características fisiológicas, pôde-se constatar que o teor de clorofila não foi afetado pelo manejo hídrico, entretanto a transpiração foi fortemente relacionada ao estresse hídrico. Quanto maior o estresse menor foi a transpiração e maior foi a sobrevivência das mudas no campo, mostrando ser esta característica muito importante na determinação da qualidade da muda. Com relação à caracterização nutricional, observou-se que a movimentação dos nutrientes do substrato ao longo do tubete foi diferente para cada manejo hídrico. Geralmente houve acúmulo dos minerais no substrato da parte superior do tubete, e em geral, quanto maior o estresse maior foi a diferença entre os teores de nutrientes do substrato da parte inferior em comparação com aquele da parte superior do tubete. Na planta, praticamente não ocorreram alterações nas concentrações dos nutrientes. A variação que ocorreu na quantidade total de nutrientes na planta nos diferentes tratamentos esteve relacionada ao peso da matéria seca.

## ABSTRACT

This study characterized *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden seedlings in terms of morphological, physiological and nutritional parameters under different degrees of water stress during enharding, and related them to seedling survival in out planting. It was carried out along 1996 at Faculdade de Ciências Agronômicas of Unesp, in the municipality of Botucatu, State of São Paulo. The water stress suffered by the seedlings was determined based on water retention tension by the growing medium. The treatments applied were: a) water-stress-free seedlings (permanently sub-irrigated); b) seedlings irrigated when reaching: -0,05 MPa; c) -0,1 MPa; d) -0,5 MPa and e) -1,5 MPa. The morphological seedling characteristics measured were: shoot height, collar diameter, shoot and root turgid and dry weight and total turgid and dry weight, leaf area and specific leaf weight. The physiological characteristics determined were: chlorophyll, leaf water potential at stress tention on each treatment, and transpiration. The results pointed out that the water management strongly influenced the seedling quality. All the morphological characteristics had decreasing values when on high water stress. The amount of chlorophyll did not change at water management but transpiration was strongly related to water stress. The higher the stress the lower the transpiration, increasing seedling survival in the out planting, indicating that this parameter is important in determining seedling quality. Nutrients movement in growing medium along the container differed in each treatment. In general, mineral nutrients were accumulated in growing medium at the upper part of the container. The higher the stress, the greater the difference between nutrients content in the growing medium at container upper and lower parts. Changes in nutrient concentration in the plant were not observed. Variation of total nutrients in the plant at different tratments was related to dry weight.



## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade das mudas é um dos fatores básicos para a obtenção de povoamentos de alta produtividade. Ela se expressa tanto por características morfológicas como fisiológicas e nutricionais, e é resultante tanto de fatores genéticos, como de procedimentos de manejo do viveiro.

De acordo com DONALD (1976), o efeito que o manejo do viveiro pode ter sobre a sobrevivência e o crescimento das plantas no campo pode ser sumarizado em dois princípios básicos: o viveirista não pode aumentar o crescimento das plantas mais do que a capacidade de produção do sítio, mas pode reduzir drasticamente o crescimento máximo que esse sítio comporta; a qualidade da muda afeta significativamente a sobrevivência e o crescimento inicial, mas tendo a planta sobrevivido, não tendo seu crescimento estagnado e não sendo dominada por plantas vizinhas, terá um máximo crescimento que a combinação espécie/sítio pode produzir.

Em função da necessidade de se ter mudas de qualidade para que o estabelecimento dessas plantas no campo obtenha sucesso, vários critérios têm sido definidos para qualificá-las.

Segundo CARNEIRO (1995), os critérios para a classificação da qualidade de mudas baseiam-se, fundamentalmente, em duas premissas de elevada importância: aumento do percentual de sobrevivência das mudas após

o plantio; diminuição da frequência dos tratos culturais de manutenção do povoamento recém plantado.

Para CARNEIRO (1995), até o momento a atenção tem sido dirigida para os parâmetros morfológicos das mudas como: altura, diâmetro de colo, maturação da parte aérea e desenvolvimento do sistema radicial. Estas características são de fácil avaliação e podem dar boas prescrições de qualificação. Determinações dos parâmetros fisiológicos das mudas ainda não fazem, explicitamente, parte das classificações.

BLAKE & SUI TER FILHO (1988) também mencionam que estudos correlacionando parâmetros morfológicos e fisiológicos das mudas com o crescimento no campo ainda são poucos.

Com a busca de parâmetros que possam correlacionar-se melhor com o desempenho das mudas no campo, torna-se imprescindível o uso de parâmetros fisiológicos na classificação da qualidade das mudas, mesmo sendo estes mais complicados para serem determinados.

Dentro dessa questão de qualidade da muda, um processo fundamental é o da rustificação, que tem por objetivo adaptar a muda para as condições de plantio no campo. Essa rustificação é conseguida aplicando na muda, na fase final de sua permanência no viveiro, um ou mais tipos de estresse, como o estresse hídrico, nutricional, entre outros. O estresse hídrico provoca na planta alterações morfológicas, fisiológicas e nutricionais que influem na sua capacidade de resistir às condições adversas do meio e, por conseguinte, na sua qualidade.

Porém, existem ainda alguns problemas quanto à forma de aplicação do estresse, principalmente o hídrico, pois a irrigação das mudas florestais, mais acentuadamente, durante a fase de rustificação, é feita de uma forma bastante empírica, onde apenas o exame visual determina o momento e a conduta de irrigação a ser tomada (tempo e frequência). As consequências para a muda desses manejos hídricos inadequados ainda são pouco estudadas. De que forma o regime hídrico influencia no comportamento dessas mudas? Quais os efeitos da irrigação na morfologia e fisiologia da planta? Quais parâmetros são mais afetados e, em consequência, como aqueles habitualmente relacionados com a definição de qualidade das mudas interferem na sobrevivência e no desenvolvimento inicial da planta?

Nesse sentido, o presente estudo ao trabalhar com o *Eucalyptus grandis*, que é a espécie mais plantada no país até o momento, teve por objetivos :

- a) verificar a relação existente entre algumas características morfológicas, fisiológicas e nutricionais com o manejo hídrico na fase de rustificação;
- b) verificar a relação do estresse hídrico da muda com sua sobrevivência no campo;
- c) determinar a(s) característica(s) que apresenta(m) melhor relação com a sobrevivência das mudas no campo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ÁGUA NA PLANTA

Segundo KRAMER (1962), o sucesso no desenvolvimento das plantas requer uma adequada disponibilidade de água e nutrientes minerais, oxigênio no solo para as raízes desempenharem efetivamente sua função, luz para fotossíntese e temperatura favorável. Para entender como o suprimento de água afeta o crescimento da planta é necessário considerar suas funções fisiológicas e bioquímicas :

- a água é o principal constituinte do protoplasma. A maioria desta água ocorre no vacúolo das células, mas uma fração considerável é encontrada nos componentes das suas paredes;
- a água é reagente na fotossíntese e em processos hidrolíticos;
- a água é o solvente de sais e gases do interior das células da planta, os quais dissolvidos, se movimentam de célula para célula e de tecido para tecido tendo a água como veículo. Praticamente, todas as reações químicas que ocorrem nas células da planta ocorrem em solução aquosa;
- a água é essencial para a manutenção da turgidez da célula, que é necessária para o alongamento celular e manutenção da forma das folhas, das brotações, e outras estruturas lignificadas. A turgidez é importante na abertura dos estômatos e também no movimento das folhas e das flores.

De acordo com LANDIS *et al.* (1989), a quantidade de água necessária para a planta depende de muitos fatores, como: clima, tipo de proteção das mudas, sistema de irrigação, substrato utilizado e de características intrínsecas das mudas. Segundo estes autores, a quantidade de água a ser utilizada na irrigação varia durante as fases de crescimento da planta, tendo assim:

- irrigação durante a fase de estabelecimento: após a semeadura o substrato deve permanecer na capacidade de campo. Nesta fase, a maior perda de água é por evaporação e a melhor forma de irrigação é através de nebulizações freqüentes ou irrigações leves. Irrigações irregulares podem levar à seca da semente e, conseqüentemente, diminuir a germinação, entretanto, o excesso de água pode favorecer o aparecimento de doenças;
- irrigação durante a fase de crescimento : assim que a muda desenvolve o sistema radicial, a quantidade de água exigida é modificada, e a evaporação é gradualmente superada pela transpiração. A maioria dos manuais existentes recomenda a manutenção do substrato na capacidade de campo para maximizar taxas de crescimento;
- irrigação durante a fase de rustificação: o manejo do regime hídrico é um dos modos mais efetivos para rustificar as mudas a serem enviadas para o campo.

Para KUDREV (1994), a exigência ou necessidade de água pelas plantas é a quantidade que é gasta pela evapotranspiração e é denominada consumo potencial de água.

Conforme COOL *et al.* (1992), a água é o componente químico mais abundante nas plantas. Normalmente nos tecidos ativos alcança valores entre

80 e 95% em peso, por isso não é de se estranhar que seja um dos fatores ecológicos que mais condicionam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, precisamente pela abundância, diversidade e importância fisiológica nas funções em que participa. Nos tecidos em estado de repouso ou de dormência, a água participa com apenas 15 a 20% do peso seco.

De acordo com KUDREV (1994), a quantidade de água nas plantas não é constante, e sofre variações durante o dia e a noite, nas diferentes estações do ano e fases de desenvolvimento da planta.

Para KRAMER (1983), a disponibilidade de água é o principal fator que limita o crescimento da árvore, especialmente em climas temperado e tropical, onde o déficit hídrico restringe o crescimento durante a estação de crescimento.

O movimento da água, das raízes às folhas, ocorre pelos vasos do xilema. Toda vez que há aumento do consumo de água, ou seja, a atmosfera demanda mais água do solo e da planta devido a um aumento de temperatura, ou abaixamento da umidade relativa, ou maior velocidade do vento, ou ainda, a conjunção destes fatores, as folhas terão de ser supridas com mais água. Com o aumento da demanda evaporativa, o potencial químico da seiva do xilema decresce e este abaixamento é transmitido às raízes, havendo aumento da absorção. Por outro lado, havendo decréscimo nos potenciais de água do solo haverá maiores dificuldades na absorção e o xilema envia este aviso as folhas, também através de decréscimos nos potenciais de água, promovendo perda na turgescência das células-guarda dos estômatos até o fechamento destes. Logo,

haverá tendência ao equilíbrio para que a planta se mantenha hidratada dentro dos limites de desenvolvimento ou de sobrevivência. Devido às resistências internas, há algum atraso entre a absorção e a transpiração, principalmente quando esta atinge valores mais elevados. A água circula internamente na planta através de um gradiente de potencial de água existente entre a solução do solo e o ar circundante, sendo a demanda evaporativa da atmosfera a principal força atuante (KLAR, 1984).

Para McDONALD & RUNNING (1988), o transporte de água na planta pode ser visto como um simples sistema de entrada e saída, onde a água do solo é a entrada e a transpiração da planta é a saída. Sob condições ótimas, a água perdida pela transpiração é repostada pela raiz ao longo do dia, embora algum atraso entre transpiração e reposição pela raiz seja normal devido ao atraso na transmissão do estresse hídrico pela planta.

Segundo LIMA (1993), a retirada de água do solo pelas plantas depende, em primeiro lugar, da configuração do sistema radicial, isto é, da distribuição e ocupação efetiva do perfil do solo pelas raízes finas. Por outro lado, como resultado da absorção da água pelas raízes finas, um gradiente de potencial acaba por se desenvolver entre a região imediatamente ao redor dessas raízes e as demais partes do perfil do solo, induzindo dessa forma a difusão da umidade do solo em direção às raízes finas. À medida em que o solo vai se tornando mais seco, todavia, esse fluxo de água começa a se tornar cada vez mais difícil, e a retirada de água pela transpiração das plantas tende a diminuir concomitantemente.

Segundo TESKEY & HINCKLEY (1986), o déficit hídrico ocorre, ou o potencial de água diminui, quando há um decréscimo no conteúdo de água. O déficit hídrico pode se formar devido a alterações na demanda evaporativa do ar, na umidade do solo, na absorção de água pelas raízes, na redistribuição da água dentro dos tecidos e à formação de gelo extracelular ou extra-órgão.

## 2.2 ESTRESSE HÍDRICO

Estresse pode ser descrito segundo LARCHER (1987)<sup>1</sup> citado por PAHLICH (1993), como um estado no qual o aumento da demanda leva a planta a uma desestabilização inicial de funções, seguido por uma normalização e aumento de resistência. Se os limites de tolerância são excedidos e a capacidade adaptativa é suplantada, pode resultar em morte.

O crescimento das plantas, provavelmente, é mais limitado por deficiências hídricas internas do que qualquer outro fator interno isolado. O efeito global dessas deficiências consiste na redução do crescimento vegetativo determinado tanto direta como indiretamente, uma vez que as deficiências em água afetam quase todos os processos que ocorrem numa árvore (KRAMER & KOZLOWSKI, 1960).

---

<sup>1</sup> LARCHER, W. Stress bei Pflanzen. Naturwissenschaften, 74: 158-167, 1987.



Para TESKEY & HINCKLEY (1986), a falta de umidade tem um impacto dramático sobre a célula, a árvore e o povoamento. O estresse hídrico afeta o crescimento e a produtividade de florestas, e ocorre quando o conteúdo de água cai abaixo do nível que afeta os processos fisiológicos. Dentro da célula, o estresse hídrico pode inibir a atividade enzimática, afetar a conformação da membrana, e influenciar todos os outros processos fisiológicos. Na árvore, pode diminuir: a) o crescimento em altura e diâmetro, b) a resistência a outros estresses, c) a distribuição de carboidratos, e d) a sincronização e as taxas de outros processos fisiológicos. No povoamento florestal, o estresse hídrico pode causar uma diminuição da área foliar e um aumento na mortalidade.

Segundo PALLARDY (1986), a maioria dos trabalhos que pesquisa estresse aceita o conceito dado por Levitt, pelo qual existe uma analogia entre o estresse físico e o biológico, sendo então definido como “qualquer fator ambiental capaz de induzir uma injúria em organismos vivos”. As tensões induzem respostas físicas e químicas dentro do organismo que eventualmente produzem uma série de macro respostas como redução do crescimento, injúria ou morte. Ainda dentro do conceito da analogia mecânica de Levitt, os organismos geralmente possuem uma capacidade elástica para suportar tensões, onde funções fisiológicas são somente alteradas temporariamente, mas retornam ao normal após o estresse ser aliviado, seguido por uma tensão plástica após níveis maiores de estresse, onde alterações permanentes (muitas vezes injúria e morte) ocorrem. O ponto no qual esta tensão elástica transforma-

se em tensão plástica é chamado “ponto limite” e é importante porque marca o nível de estresse onde inicia efeitos severos e irreversíveis.

Segundo HSAIO *et al.* (1976)<sup>2</sup>, citado por McDONALD & RUNNING (1988), numerosos estudos têm comprovado os efeitos adversos do estresse hídrico sobre funções fisiológicas e bioquímicas da planta. O alongamento e a divisão celular, importantes fenômenos que determinam o crescimento de mudas florestais, são as primeiras funções a serem retardadas por um baixo nível de água.

De acordo com TESKEY & HINCKLEY (1986), o estresse hídrico é um fator limitante do crescimento e da produtividade das florestas. Pode diminuir o crescimento através do efeito sobre o turgor, ou indiretamente por limitação da incorporação de moléculas de carbono no metabolismo da planta. A disponibilidade de água também altera a movimentação de carboidratos entre parte aérea e raiz. As árvores resistem a taxas excessivas de perda de água através da regulação dos estômatos, um processo que pode ser mediado pelo nível de reguladores de crescimento transportados da raiz para a parte aérea durante períodos de déficit hídrico do solo. Muitas vezes tem sido observado um efeito indireto do estresse hídrico sobre a fotossíntese devido à redução da difusão de gases causada pelo fechamento dos estômatos. Entretanto, o efeito do estresse no mesófilo na redução da fotossíntese pode em si ser muito maior do que uma simples consequência da diminuição da difusão de CO<sub>2</sub> para dentro da folha.

---

<sup>2</sup> HSAIO, T.C. et al. Stress metabolism : water stress, growth, and osmotic adjustment . Phil. Trans.R.

Segundo RAWAT *et al.* (1984), quando a umidade do solo é limitante, a planta tende a restringir a perda de água para que o crescimento não seja afetado seriamente. Assim, os mecanismos de conservação de água são desencadeados somente sob condições de estresse hídrico. Quando há grande disponibilidade de umidade, como no caso das plantas mantidas na capacidade de campo, existe uma transpiração excessiva, já que a pressão de turgor das células foliares não é limitante. Isso é normalmente chamado de “consumo de luxo”.

Para McDONALD & RUNNING (1988), quando a demanda evaporativa do ar excede a capacidade do sistema radicial em fornecer água, o resultado é um curto período de estresse hídrico. A demanda evaporativa do ar é gerada principalmente pelo aumento da temperatura e pela diminuição da umidade relativa do ar, embora a intensidade de radiação solar e a velocidade do vento também contribuem diretamente, porém em menor intensidade. Quando a umidade relativa do ar se mantém constante, a demanda evaporativa aumenta exponencialmente com a temperatura, e não linearmente, porque a atmosfera pode reter mais vapor de água na medida em que aumenta a temperatura do ar. Conseqüentemente, a demanda evaporativa fica maior e causa significativa estresse hídrico por curto período mesmo com o solo bem irrigado.

A exposição ao déficit hídrico pode também produzir reações dentro da árvore que podem ajudá-la a resistir a futuros episódios de seca, ou reduzir o impacto do episódio presente. Estas reações incluem (de curto a longo prazo): “percepção” física ou bioquímica do estresse pela rizosfera, ajuste osmótico,

abscisão de folhas ou ramos, e aumento da produção de raízes finas. Recentes evidências indicam que a parte aérea da planta pode “sentir” o estresse na rizosfera, antes mesmo que ocorra qualquer alteração no potencial hídrico foliar. O elo de comunicação entre raiz e parte aérea parece ser ambas física a curto prazo e bioquímica a médio prazo (TESKEY & HINCKLEY, 1986).

De acordo com LIMA (1995), a eficiência no uso da água pode ser entendida como um eficiente mecanismo evolutivo pelo qual a planta adquire maior elasticidade para enfrentar possíveis déficit hídricos.

O estudo de KOPPENAAL *et al.* (1991) deixou claro que a capacidade de muitas plantas tolerar estresse hídrico é fortemente dependente de sua capacidade de ajuste osmótico, que é o mecanismo que facilita um gradiente osmótico favorável para manutenção do turgor da célula através do acúmulo de solutos.

MYERS & NEALES (1986) relataram que as flutuações no potencial osmótico pode ser atribuída em parte à alteração no volume celular, o qual acompanha alterações no potencial hídrico e, em parte, a alterações na quantidade de solutos osmoticamente ativos no simplasto, e possivelmente também pela redistribuição de água entre o apoplasto e o simplasto. Nesta pesquisa eles investigaram o grau de ajuste osmótico induzido pela seca em mudas de três espécies de *Eucalyptus* plantadas em vasos, *E.behriana*, *E.microcarpa* e *E.polyanthemos*, e concluíram que o ajuste osmótico pode ocorrer em resposta ao aumento da salinidade ou ao aumento do déficit hídrico.

De acordo com KIRSCHBAUM (1987), a perda de turgor desencadeia ajustes fisiológicos e bioquímicos que são importantes para a manutenção do turgor. O ajuste osmótico e o acúmulo ativo de solutos nas células aumenta o seu potencial osmótico e promove absorção de água. Entretanto, a redução na elasticidade da parede celular pode ser mais importante para a resistência à seca do que o ajuste osmótico, particularmente em plantas repetidamente estressadas. Também CORREIA *et al.* (1989) relataram o ajuste osmótico e a alteração na elasticidade do tecido como mecanismos de adaptação ao estresse hídrico, sendo que a intensidade do ajuste osmótico é influenciada pelo grau deste estresse.

Segundo STONEMAN *et al.* (1994), numerosos estudos têm mostrado que o crescimento e a fotossíntese de mudas de eucalipto são reduzidos por déficit hídrico, e que há considerável variação entre espécies na sensibilidade da fotossíntese para o déficit hídrico. Para algumas espécies, o ajuste osmótico é importante na manutenção do turgor e, portanto, na fotossíntese e no crescimento durante a seca.

Segundo KIRSCHBAUM (1987) quando as plantas são hidricamente estressadas, seus estômatos se fecham. Este é um dos importantes mecanismos de defesas contra a perda adicional de água e posterior morte por desidratação. Um nível de estresse similar aquele que causa fechamento de estômato também inibe a taxa de assimilação fotossintética medida em alta pressão parcial intercelular de CO<sub>2</sub>. Isto levou a concluir que a taxa de assimilação em folhas estressadas não é limitada pela condutância estomática

mais do que naquela de folhas não estressadas. A relação entre condutância estomática e capacidade do mesofilo em folhas estressadas é afetada pelo nível de radiação incidente.

CORREIA *et al.* (1989) relataram que as condições de crescimento e desenvolvimento podem influenciar a relação hídrica do tecido foliar. Em adição a esta influência, o suprimento de água e a nutrição com nitrogênio podem afetar o potencial osmótico e a elasticidade do tecido foliar.

A tolerância de mudas de espécies florestais à seca é determinada por vários fatores, incluindo regulação osmótica, condutância estomática e crescimento radicial. Estes fatores podem ser modificados pela exposição ao estresse hídrico (SEILER *et al.* 1988).

## 2.3 QUALIDADE DA MUDA

Segundo CARNEIRO (1995), o desempenho das mudas no viveiro é importante para o sucesso dos projetos de implantação de povoamentos florestais. Este fato justifica o interesse sempre mostrado na qualificação de indicadores para a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no campo. Até o momento, a atenção tem sido dirigida para os parâmetros morfológicos das mudas, como a altura, o diâmetro de colo, a maturação da parte aérea e o desenvolvimento do sistema radicial. Estas características são de fácil avaliação e podem dar boas prescrições de qualificação. Determinações dos parâmetros

fisiológicos das mudas, ainda não fazem explicitamente parte das classificações.

CARNEIRO (1976), estudando a influência de parâmetros morfológicos na qualidade de mudas de *Pinus taeda*, constatou que idade e diâmetro de colo individualmente são altamente significativos para a classificação das mudas, enquanto que a altura não apresentou influência significativa.

GUERREIRO & COLLI JÚNIOR (1984) apresentaram os seguintes critérios para a seleção de mudas de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna*, esclarecendo que mudas consideradas aptas para o plantio devem apresentar as seguintes características:

- diâmetro de colo no mínimo de 2 mm;
- altura entre 15 e 35 cm;
- sem problemas sanitários aparentes;
- possuir raiz pivotante com forma normal;
- parte aérea sem bifurcações e com 3 pares de folha no mínimo;
- haste sem tortuosidade acentuada; e
- alto grau de rustificação.

Para KRAMER & KOZLOWSKI (1960), o déficit de água não somente reduz a intensidade do crescimento como também modifica as características da planta.

WINTER (1984) citou a redução na taxa de crescimento e desenvolvimento da folhagem como efeitos mais comuns provocado pelo estresse hídrico.

Características fisiológicas indicativas de crescimento radicial, potencial hídrico e reservas são também importantes para a sobrevivência e o crescimento das plantas no campo (MENZIES, 1992).

Segundo KRAMER (1962), a fotossíntese é particularmente vulnerável à redução de água pelo fato de que a desidratação do protoplasma reduz a capacidade fotossintética, e porque o fechamento do estômato reduz o suprimento de dióxido de carbono.

Segundo INOUE & RIBEIRO (1988), a transpiração é um fenômeno bastante influenciado pelas condições do ambiente, principalmente a temperatura e a saturação de vapor do ar. Sob condições idênticas, diferenças na transpiração podem indicar um mecanismo estomático com maior ou menor eficiência, implicando na economicidade de água pela planta.

Alterações morfológicas e ou fisiológicas induzidas pela rustificação das mudas também foram estudadas por BRIX (1985) e SEILER (1985).

De acordo com MYERS & LANDSBERG (1989), respostas de mudas de eucalipto ao estresse hídrico incluem alterações na relação parte radicial/parte aérea, taxas de crescimento da folha e do caule, eficiência no uso da água, condutividade hidráulica das raízes, potencial osmótico do tecido, condutância estomática, conteúdo relativo de água no fechamento do estômato, potencial de água na folha no ponto de murchamento, e alterações na taxa de transpiração.

Segundo SEILER & JOHNSON (1988), alterações morfofisiológicas ocorreram em mudas de *Pinus taeda* em resposta ao estresse hídrico. Estas alterações incluíram o condicionamento da fotossíntese ao baixo potencial



hídrico, diminuição da transpiração e eficiência no uso da água, melhorando a tolerância à seca. O crescimento radicial, entretanto, foi menor que da parte aérea resultando numa baixa relação parte radicial/parte aérea.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL

Os ensaios experimentais de viveiro e de campo foram desenvolvidos na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas (F.C.A) da UNESP, no município de Botucatu - SP. A produção das mudas, bem como sua caracterização, foi realizada no viveiro do Departamento de Ciências Florestais. A parte experimental de avaliação do comportamento das mudas no campo teve sua implantação numa área da fazenda destinada até então a culturas agrícolas.

A localização geográfica de Botucatu é a seguinte: 22°52' de latitude sul 48°26' de longitude oeste e aproximadamente 800 metros de altitude.

Segundo os dados climáticos obtidos junto ao Departamento de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP- Botucatu), durante um período de 24 anos (1971 a 1995), a temperatura média anual é de 20,6°C com amplitude média de 5,6°C, e médias mensais extremas de 23,5°C em janeiro e 17,4°C em julho. A máxima absoluta mensal atinge 34,5°C e a mínima absoluta 0,1°C nesses mesmos meses. Na região, a precipitação média é de 1517 mm oscilando entre 673 mm e 1842 mm para os anos mais secos e mais úmidos respectivamente. A estação chuvosa vai de novembro a fevereiro, com média de 1067 mm contra 247 mm na estação seca de junho a setembro.

Segundo os critérios adotados por Koeppen, através dos dados meteorológicos observados o clima da região de Botucatu é Cfa (clima mesotérmico úmido), inverno não muito seco. Um fato importante a ser ressaltado na classificação climática de Botucatu é sua localização geográfica. Segundo o Atlas climático do Estado de São Paulo (SETZER, 1966) o Município de Botucatu encontra-se situado dentro da região Cfa, porém muito próximo da região Cwa (clima mesotérmico úmido com verão quente e inverno seco).

### 3.2 ÉPOCA

O experimento iniciou-se em março, sendo levado ao campo em agosto e a última avaliação de sobrevivência foi feita em outubro de 1996.

### 3.3 ESPÉCIE

As sementes de *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden utilizadas para a produção das mudas foram provenientes de um Pomar de Sementes Clonal (PSC) da safra de 1995, selecionadas através de uma peneira de malha 25, cedidas pela empresa florestal DURAFLOA. Esta procedência foi escolhida por apresentar o maior percentual de germinação entre as sementes testadas, conforme explica o item 3.4.

*Eucalyptus grandis* ocorre na Austrália em clima quente-úmido, com temperatura máxima variando de 24 a 30°C na região sudeste e de 29 a 32°C na

região nordeste; a temperatura mínima varia, respectivamente, de 3 a 8°C e de 10 a 17°C, com uma precipitação de 1000 a 3500 mm (BOLAND *et al.*<sup>4</sup>, citado por BARROS & NOVAIS, 1990).

### 3.4 TESTE DE GERMINAÇÃO

Sementes de três procedências foram submetidas a um teste de germinação em laboratório para a escolha do melhor material genético para a instalação do experimento. A análise seguiu a metodologia da Regras de Análise de Sementes (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1992).

### 3.5 ESTRUTURA FÍSICA

Como estrutura física no processo de produção das mudas foram utilizadas:

- a) casa de vegetação : da marca Suzuki com 6 m x 8 m e apresentando duas janelas frontais superiores, sistema de irrigação por micro-aspersores, possuindo umidostato que aciona a irrigação quando a umidade relativa do ar diminui para 80%;
- b) canteiro tipo micro-túnel elevado, com cobertura de sombrite 50%, e de plástico transparente de uso agrícola;

---

<sup>4</sup> BOLAND, D.J. et al. Forest tree of Australia. Melbourne, Thomas Nelson, Australia. 687p.

- c) canteiro tipo micro-túnel baixo, sobre o solo, com cobertura de sombrite 50% e de plástico transparente e com revestimento do piso com lençol plástico para a realização de subirrigação;
- d) estufa tipo túnel alto (3m de pé direito), com cobertura plástica sem sistema de irrigação fixo, para controle completo de água na planta de acordo com os tratamentos.

### 3.6 RECIPIENTES

Os recipientes usados para a produção das mudas foram tubetes cilindro-cônicos de polietileno com dimensões de 12,5 cm de comprimento, 2,5 cm de diâmetro da abertura superior, 0,8 cm de diâmetro de abertura inferior e volume de 55 cm<sup>3</sup>, com quatro estrias internas salientes. Como suporte para os tubetes, foram utilizadas bandejas de polietileno com dimensões de 60 cm x 40 cm e capacidade para 96 mudas.

### 3.7 ENCHIMENTO DOS TUBETES

Para enchimento dos tubetes, utilizou-se uma caixa de madeira como suporte para a bandeja de polietileno na qual foram colocados os tubetes. A metodologia foi a seguinte: colocou-se o substrato sobre os tubetes e em seguida promoveu um batimento manual para acomodação deste substrato. Preencheu-se com mais substrato e novamente fez-se o batimento. Com uma

“vassourinha” retirou-se o substrato excedente e fez-se uma irrigação. Posteriormente procedeu-se a semeadura.

### 3.8 SEMEADURA

Utilizou-se uma “conchinha” de metal que coloca em média 10 sementes em cada tubete. Após a colocação das sementes, estas foram cobertas por uma fina camada de vermiculita expandida granulometria fina e, posteriormente, irrigadas.

Na seqüência, foram levadas à casa de vegetação onde permaneceram por 15 dias, sendo que durante esse período a irrigação, através de micro-aspersores, foi acionada assim que a umidade relativa do ar diminuísse abaixo de 80%.

Após os 15 dias, as bandejas foram levadas para um canteiro suspenso tipo túnel coberto com sombrite 50% e plástico. A irrigação foi por micro-aspersores e em média quatro vezes ao dia. As bandejas com os tubetes ficaram cobertas com o sombrite durante o período diurno até o 25º dia após a semeadura e durante a noite cobertas com sombrite e plástico. Depois dessa idade as mudas somente ficaram cobertas com o plástico de cobertura do canteiro durante a noite e em dias chuvosos.

### 3.9 RALEAMENTO

No 20º dia iniciou-se um raleamento, deixando 3 mudas por tubete e, logo em seguida (no 27º dia), um novo raleamento deixando apenas a planta com maior vigor e na posição mais central do tubete.

### 3.10 ADUBAÇÃO

A primeira adubação via subirrigação realizou-se quando as mudas estavam com 35 dias. Utilizou-se adubo, contendo  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e  $\text{KNO}_3$ . O adubo foi dissolvido em água produzindo uma solução contendo 400 ppm de N e 316 ppm de K. Esta solução foi colocada no canteiro utilizado para subirrigação onde já estavam as bandejas com as mudas, ficando os tubetes parcialmente imersos. O tempo para absorção da solução pelas mudas foi de 24 horas, sendo depois levadas para o canteiro suspenso.

No 54º dia uma segunda e última adubação foi feita usando o fertilizante PETERS 20:10:20 que contém NPK e micronutrientes. A dosagem foi de 2g/litro e novamente as bandejas foram deixadas no canteiro por 24 horas para absorção da solução dos fertilizantes por subirrigação .

### 3.11 SELEÇÃO

Antes das mudas serem levadas para a estufa tipo túnel onde estas foram submetidas aos diferentes tratamentos, as mudas sofreram uma seleção com o objetivo de homogeneizar ao máximo as parcelas (bandejas). Após essa seleção as bandejas foram identificadas com o tratamento e a repetição a que se referiam e distribuídas aleatoriamente sobre mesas com telas metálicas.

### 3.12 RUSTIFICAÇÃO

A partir do 70º dia as mudas tiveram manejos hídricos diferenciados, que se constituíram nos tratamentos. O manejo hídrico foi dado com relação ao grau de umidade do substrato que foi avaliado através do método de pesagem. Todas as vezes que as amostras atingiram o peso pré-determinado, que correspondia a um grau de umidade do substrato, as mudas foram para o canteiro de subirrigação onde permaneciam até atingir a capacidade de campo. Esse período de rustificação foi de 30 dias.

### 3.13 TRATAMENTOS

Até aos 69 dias, todas as mudas tiveram a mesma condução. A partir do 70º dia as plantas começaram a receber manejo hídricos diferenciados. Esta diferenciação se deu com base na umidade do substrato e a escolha dos pontos



levou em consideração a curva Tensão/Retenção obtida preliminarmente (item 3.14. ). Tem-se dessa forma os seguintes tratamentos:

- T1** : mudas sem sofrer déficit hídrico ou permanentemente subirrigadas (com a coluna de água de aproximadamente 6 cm de altura);
- T2** : mudas irrigadas ao atingirem uma tensão de retenção de água pelo substrato de -0,05 MPa.
- T3** : mudas irrigadas ao atingirem uma tensão de retenção de água pelo substrato de -0,1 MPa.
- T4** : mudas irrigadas ao atingirem uma tensão de retenção de água pelo substrato de -0,5 MPa.
- T5** : mudas irrigadas ao atingirem uma tensão de retenção de água pelo substrato de -1,5 MPa.

Para cada tratamento existiam 10 bandejas de mudas, sendo que em cada uma delas havia 12 tubetes identificados com pintura nas bordas (tubetes amostrais). Para cada amostra foram determinados previamente o peso do tubete, do substrato seco e da planta (sendo que o peso da planta foi determinado várias vezes em função do seu crescimento). A partir do peso seco do substrato e de sua curva de retenção de água determinou-se o peso que este substrato deveria ter quando estivesse com a umidade correspondente ao seu tratamento. Com a somatória do tubete, da planta e do substrato úmido, determinou-se o peso dos 12 tubetes amostrais com a umidade correspondente a cada tratamento. Fez-se uma tabela destes valores e então cada conjunto de

12 tubetes amostrais eram submetidos a pesagens periódicas e, quando atingissem valores inferiores ao da tabela, eram levados para o canteiro de subirrigação onde permaneciam o tempo necessário até a água chegar a superfície do substrato.

### 3.14 SUBSTRATO

O substrato utilizado foi o produto comercial denominado Plantmax Florestal, que é constituído basicamente por casca de *Pinus* e vermiculita, possuindo uma adubação de base contendo macro e micronutrientes.

Primeiramente, este substrato foi caracterizado fisicamente pelos métodos do laboratório do Departamento de Ciências Florestais da F.C.A, da mesa de tensão de Richards e da placa de pressão de Richards, sendo este último utilizado para a determinação dos tratamentos de estresse hídrico. A análise química do substrato, com o objetivo de caracterizar a disponibilidade de nutrientes foi realizada seguindo a metodologia de análise de solo, e quanto à condutibilidade e pH utilizando para isso o pHmetro e o condutivímetro.

As metodologias e os resultados destes métodos estão a seguir:

#### 3.14.1 Caracterização física do substrato pelo método do Laboratório do Departamento de Ciências Florestais da F.C.A

Esta análise consta dos seguintes passos:

**a)** preparação dos tubetes : eles devem ser numerados para a sua identificação.

Na abertura inferior do tubete deve-se colar um botão de quatro furos para evitar a perda de substrato durante a determinação das propriedades físicas do substrato. Os orifícios do botão permitirão a entrada de água sem a perda de substrato. Os tubetes serão tarados e terão as suas capacidades volumétricas determinadas;

**b)** enchimento dos tubetes: os tubetes são enchidos manualmente em um pequeno aparelho de compactação por vibração semelhante ao que é utilizado para a produção das mudas em escala comercial;

**c)** absorção de água: enche-se com água uma caixa plástica, a qual possui uma bandeja de polietileno encaixada para suporte dos tubetes. Colocam-se os tubetes cheios na bandeja sem forçá-los para baixo, pois a própria absorção de água fará com que desçam à posição normal. O nível de água na caixa é o correspondente à borda superior do tubete. O período inicial de encharcamento é de 1 hora, em seguida, colocam-se os tubetes no suporte para drenagem por 30 minutos, depois completam-se os volumes dos tubetes com mais substrato, para compensar a acomodação inicial do substrato e retornam-se os tubetes para a caixa de água por mais 1 hora para encharcar novamente;

**d)** primeira pesagem (encharcado) : levanta-se o tubete tampando o orifício do botão, para não drenar a água nele existente. Em seguida acrescenta-se água com bureta até o limite da borda do tubete. Enxugar a água aderida na superfície externa do tubete e pesá-lo;

- e)** drenagem: a drenagem é dividida em 2 etapas, sendo a primeira com o tubete suspenso, com a superfície de drenagem livre, durante 1 hora. Depois, os tubetes são mantidos em drenagem com o fundo sobre folhas de jornal e uma lâmina de espuma plástica por 12 horas;
- f)** segunda pesagem (drenado): retiram-se os tubetes do suporte e imediatamente são pesados;
- g)** secagem : transfere-se o substrato drenado para cápsulas de alumínio com tampa (já identificadas e taradas) e em seguida estas são levadas para estufa regulada a 105°C onde permanecerão por 24 horas;
- h)** terceira pesagem (seco): retiram-se as cápsulas da estufa , que são tampadas imediatamente, transferem-se para o dessecador e após resfriamento são pesadas;
- i)** peso hectolítrico e umidade natural de fabricação do substrato: para a determinação do peso hectolítrico são usadas latas cilíndricas de 1 litro que são cheias de substrato e compactado da mesma forma que os substratos nos tubetes. Feito o enchimento, pesa-se na umidade natural, e em seguida, coloca-se o substrato numa bandeja de alumínio e leva-se para secar a 105°C por 24 horas. Após esse período faz-se pesagem;
- j)** granulometria : usa-se o mesmo substrato seco que foi determinado o peso hectolítrico e coloca-se para tamisamento através das peneiras 6,35mm, 4,00 mm, 2,00 mm e 0,85mm, na intensidade 5 do Aparelho Produtest durante 5 minutos. Pesa-se o material retido em cada peneira. Depois, mede-se nas provetas o volume retido de substrato em cada peneira.

Os resultados obtidos da análise do substrato foram os seguintes:

- macroporos : 29,2 %
- microporos : 46,8 %
- porosidade total : 76,0 %
- peso hectolítrico na umidade natural : 461,2 g/l
- retenção de água : 2,2 g de água / g de substrato seco

**TABELA 1 GRANULOMETRIA DO SUBSTRATO**

<b>granulometria do substrato (peso seco)</b>		
<b>peneira</b>	<b>em peso</b>	<b>em volume</b>
<b>de retenção (mm)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>6,35</b>	<b>0,47</b>	<b>0,55</b>
<b>4,00</b>	<b>3,40</b>	<b>4,53</b>
<b>2,00</b>	<b>21,13</b>	<b>23,73</b>
<b>0,85</b>	<b>30,50</b>	<b>33,66</b>
<b>Fundo</b>	<b>44,50</b>	<b>37,53</b>
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

### 3.14.2 Caracterização física do substrato através da mesa de tensão de Richards

Essa mesa caracteriza o substrato quanto à sua porosidade total e sua densidade.

**TABELA 2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SUBSTRATO PELO MÉTODO DA MESA DE TENSÃO DE RICHARDS**

	<b>macroporos (%)</b>	<b>microporos (%)</b>	<b>porosidade Total (%)</b>	<b>densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Substrato</b>	31,7	40,7	72,4	0,24

### 3.14.3 Caracterização física do substrato por meio da placa de pressão de Richards

A caracterização do substrato para a obtenção da Curva de Tensão/Retenção de água foi o primeiro passo para determinação dos tratamentos. Segundo KLAR (1984) a Placa de Pressão de Richards consta de um disco de porcelana colocado numa célula de pressão, em que a parte inferior do disco sempre se encontra sob pressão atmosférica e a parte superior, onde se encontram as amostras de substrato, sob pressão conhecida de ar, superior à atmosférica. Existem dois tipos de placas no mercado, uma que trabalha de 0 a 2 bars e outra até 20 bars. Elas deixam de funcionar quando o ar sob pressão expulsa a água retida nos poros, ocupando o seu lugar. Para se conduzirem as determinações, dispõem-se anéis de borracha (1 cm de altura por 5 cm de diâmetro) sobre a placa ou membrana; coloca-se o substrato dentro dos anéis, satura-se e deixa-se em repouso por 24 horas, evitando-se a evaporação, para que seja reduzido o número de bolhas de ar; a célula é

fechada, aplicando-se a pressão desejada, até que a água não seja mais eliminada, o que mostra ter atingido o equilíbrio entre o potencial matricial das amostras e a pressão aplicada. Em seguida mede-se o teor de umidade do substrato .

As tensões usadas na célula de pressão, nesse estudo, foram: -0,01; -0,03; -0,05; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa. A curva obtida é apresentada na figura 1.

FIGURA 1 CURVA DE TENSÃO/RETENÇÃO DE ÁGUA PELO SUBSTRATO



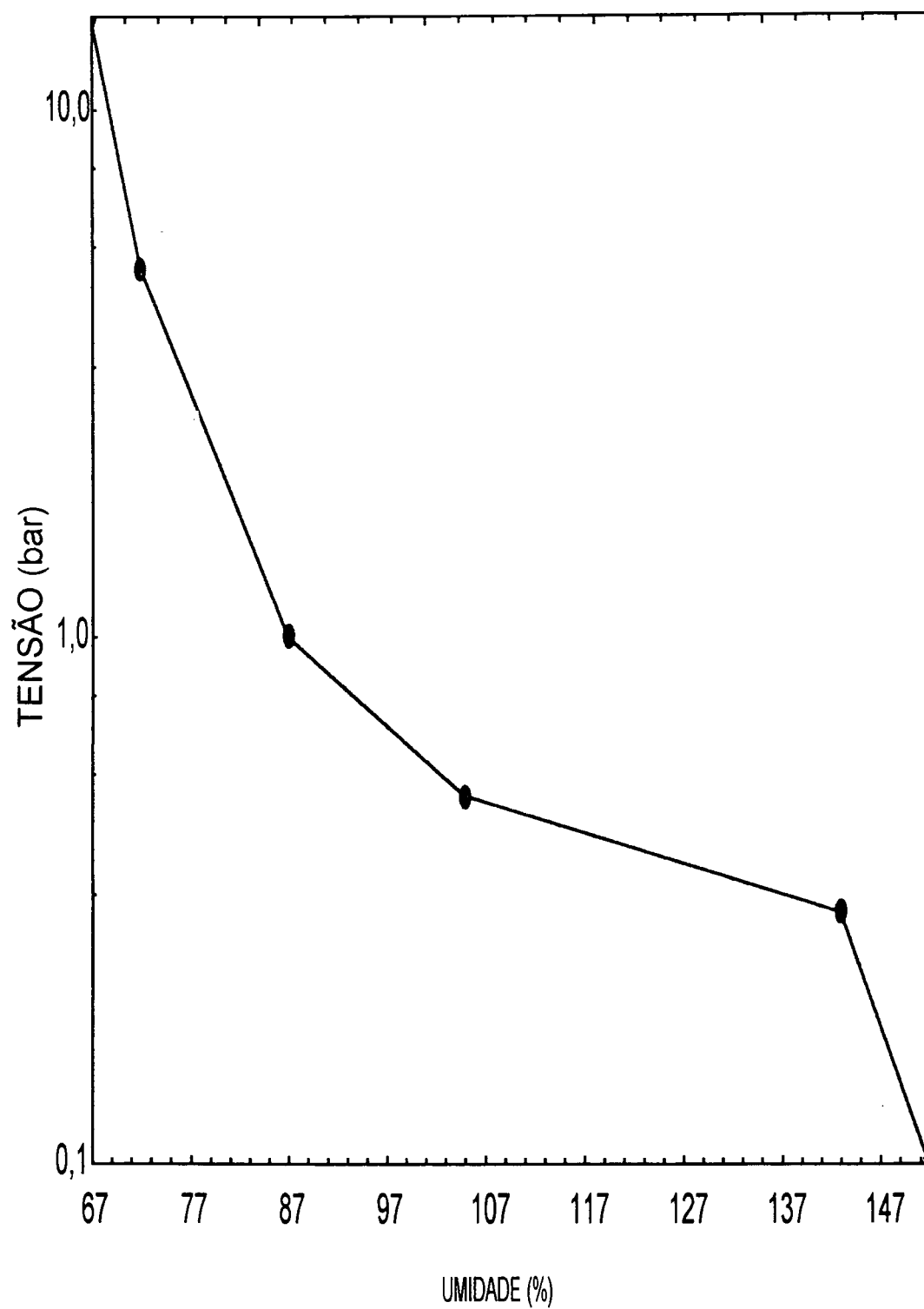


FIGURA 1 CURVA DE TENSÃO / RETENÇÃO DE ÁGUA PELO SUBSTRATO

### 3.14.4 Caracterização química do substrato

A disponibilidade de nutrientes no substrato comercial foi determinada seguindo a metodologia de análise para solo e apresentou os seguintes resultados:

TABELA 3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SUBSTRATO

	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. (%)	P (µg/cm <sup>3</sup> )	meq / 100 cm <sup>3</sup> substrato					V (%)	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm
				H+Al	K	Ca	Mg	CTC						
Subs- trato	5,2	44,7	992	4,2	1,02	21,0	9,8	36,0	88	112,8	52,4	4,4	30,0	73,6

### 3.14.5 pH e condutibilidade elétrica

O procedimento para essa determinação é o seguinte: adicionam-se 300 ml de água destilada e 150 cm<sup>3</sup> de substrato. Agita-se com bastão ou agitador por 5 minutos, deixa descansar por mais 5 minutos. Repetir por 3 vezes e em seguida filtrar o material. Faz-se a leitura utilizando pHmetro e condutivímetro. Os resultados obtidos encontram-se a seguir : pH = 5,63 e C.E.= 2,04 µS/cm (micro síemens).

Após a obtenção dos resultados físicos e químicos do substrato comercial, procedeu-se a instalação do experimento. Ao final da fase de viveiro do experimento, o substrato de cada tratamento foi analisado da seguinte forma: o substrato foi dividido em três partes conforme sua localização no interior do tubete e submetido à análise química separadamente de acordo com esse posicionamento. Isto foi feito para avaliar uma possível movimentação dos nutrientes quando submetidos a diferentes fluxos de água no substrato. Separadas as 3 partes de todas as 20 repetições de cada tratamento, estas foram misturadas para formar uma amostra composta de acordo com o tratamento e o posicionamento do substrato dentro do tubete. Cada amostra composta foi submetida à análise química, portanto, tem-se uma única amostra para cada tratamento e posição e, em função disso, não é possível comparar os tratamentos estatisticamente, pois não há repetições. Dessa forma, os dados serão apresentados sem nível de significância. Uma outra consideração bastante relevante diz respeito à metodologia utilizada para a determinação desses nutrientes. Por não existir ainda metodologia própria para análise de substrato no Brasil utiliza-se a mesma usada para o solo, com os mesmos extratores, o que pode não representar bem a verdadeira disponibilidade no substrato de nutrientes para as plantas. É, entretanto, perfeitamente válida a mesma metodologia de análise química de solo para o estudo de movimentação de nutrientes no substrato.

### 3.15 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

As características morfológicas avaliadas aos 100 dias foram: altura da parte aérea (H), diâmetro de colo (D), área foliar (AF), peso de matéria verde da parte aérea (PVA), peso de matéria verde da parte radicial (PVR), peso de matéria seca da parte aérea (PSA), peso de matéria seca da parte radicial (PSR) e peso específico foliar (PEF). Os instrumentos utilizados nessas determinações foram: régua, paquímetro, medidor de área foliar, balança digital, estufa de ventilação forçada e furador de rolha metálico de 1cm de diâmetro.

Na noite anterior às avaliações, as amostras (20 plantas por tratamento) foram irrigadas e deixadas para drenar. As determinações iniciaram-se na manhã seguinte de acordo com a seqüência : lavagem das raízes, determinação do diâmetro de colo, altura da parte aérea, peso de matéria verde aérea, peso de matéria verde da parte radicial.

Cada uma das partes (raiz, haste e folhas) foram colocadas para secar em estufa numa temperatura de 70°C. E após adquirirem pesos constantes foram pesadas.

Na determinação do peso específico foliar foram tomadas também vinte plantas por tratamento. De cada planta foram coletadas folhas da parte mediana das mesmas e retiradas quatro amostras com um furador de rolha, de 1 cm de diâmetro, totalizando uma área de 3,14 cm<sup>2</sup>/planta. Essas amostras foram pesadas em balança com precisão de quatro casas decimais e levadas à estufa para obtenção de peso seco. Os resultados do peso específico foliar expressos

em g/m<sup>2</sup>, foram obtidos a partir da divisão do peso seco das amostras por suas áreas foliares respectivas.

### 3.16 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

As características fisiológicas analisadas foram: potencial hídrico da folha no momento do estresse, teor de clorofila e transpiração.

Para a determinação do potencial hídrico da folha utilizou-se a Câmara de Pressão de Scholander. A leitura foi feita quando a planta encontrava-se sob o estresse equivalente ao seu tratamento.

O teor de clorofila foi obtido através do clorofilômetro da marca Minolta. De cada tratamento foram tomadas vinte plantas para a análise, sendo as leituras efetuadas em uma das folhas da parte mediana e a outra em uma das folhas da parte basal da planta. O resultado para cada planta foi determinado através da média destas duas leituras. Utilizando estes valores médios foi obtido o teor de clorofila para planta e depois para o tratamento através da seguinte fórmula: **teor de clorofila (mg/100cm<sup>2</sup>) = 0,0996.x – 0,154**, onde x é a média das leituras.

A transpiração foi obtida através de pesagens. O primeiro passo constituiu-se da saturação das amostras. Logo após elas foram drenadas (para não perder água por transpiração essa drenagem foi realizada no início da noite). Uma vez drenado, os tubetes foram vedados com parafina na parte superior e inferior para não haver perda de água por evaporação. No início da

manhã estes tubetes foram pesados e então colocados sobre canteiros suspensos expostos ao sol. As pesagens foram feitas das 8 às 18:00h sendo pesados de hora em hora e uma última pesagem realizada às 8:00 h da manhã seguinte. Os dados climáticos indicavam um dia típico para aquele mês. A diferença do peso inicial e final reflete a água perdida em 24 horas pela transpiração da planta. Para obter uma estimativa da transpiração da planta por unidade de área, dividiu-se a perda de água por sua área foliar.

### 3.17 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS

Para a caracterização nutricional das mudas utilizou-se uma amostra composta, ou seja, as 20 plantas amostradas de cada tratamento foram divididas em raiz, haste e folhas (sendo as folhas divididas em três regiões: basal, mediana e apical) e da mistura de cada parte retirou-se uma amostra para proceder a análise. Em função disso, não foi possível comparar os tratamentos estatisticamente, pois não há repetições. Portanto, os dados serão apresentados sem nível de significância.

As análises foram feitas no Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, seguindo as normas de análise de plantas.

### 3.18 PREPARO DO SOLO

O preparo da área destinada à implantação do experimento seguiu os seguintes passos: roçada para eliminação de ervas daninhas e arbustos; gradagem, aplicação do formicida MIREX-S na área total; sulcamento e adubação; estaqueamento da área.

### 3.19 PLANTIO

O plantio foi realizado manualmente utilizando um “chuço” de madeira. O espaçamento foi de 1,5m x 3,0m. Após o plantio foi realizado uma irrigação. Cabe ressaltar aqui que houve uma falha na irrigação, responsável pela perda de grande parte do experimento. Esta falha consistiu no enorme espaço de tempo para se conseguir irrigar todo o experimento. Durante a instalação do mesmo pôde-se contar com apenas um equipamento pipa, além disso, a vazão da borracha de irrigação era pequena. Estes dois fatores contribuíram para que o término da irrigação fosse após 4 dias do plantio. Neste espaço de tempo grande parte das mudas não resistiram e morreram.

### 3.20 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Os delineamentos estatísticos dos experimentos de viveiro e de campo foram diferentes.

No viveiro pode-se separar dois momentos. Um antes e outro durante a rustificação. Até a primeira fase as bandejas de polietileno, as quais serviram de suporte para os tubetes, ficaram sobre os canteiros suspensos com distribuição inteiramente ao acaso. A partir do momento em que se iniciaram os tratamentos com as diferentes tensões de água no substrato, as bandejas foram colocadas na casa de vegetação sobre uma mesa de tela metálica e então foram distribuídas aleatoriamente. Esse tipo de distribuição foi em função do pequeno espaço ocupado pelo experimento dentro da casa de vegetação, e assim não apresentar diferenças microclimáticas consideráveis.

O delineamento utilizado no campo foi em blocos ao acaso com parcelas de 48 plantas no espaçamento de 3m x 1,5 m totalizando 4,5 m<sup>2</sup> por planta. Foram 5 tratamentos com 8 repetições, perfazendo um total de 1.920 mudas e uma área de 0,864 ha.

Para a caracterização morfológica e fisiológica das mudas utilizou-se uma amostragem de 20 plantas (20 repetições) por tratamento totalizando 100 mudas.

A avaliação da sobrevivência no campo contou com 3 blocos ou repetições, já que houve perda das demais.

A análise estatística utilizada foi a análise da variância inteiramente casualizada para as características morfológicas e fisiológicas, e delineamento em blocos ao acaso para a sobrevivência. A comparação das médias foi pelo teste de Tukey para um nível de probabilidade de 95%.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

#### 4.1.1 Altura da parte aérea (H)

Considerou-se como altura da parte aérea o comprimento entre o colo e a extremidade da folha mais jovem.

Através da Tabela 4, pode-se observar que o manejo hídrico afetou o desenvolvimento da parte aérea da planta, embora somente o tratamento T1 (submetido à subirrigação contínua durante a fase de rustificação) diferiu estatisticamente dos demais. Os outros tratamentos, mesmo submetidos a diferentes níveis de estresse hídrico, não diferiram entre si estatisticamente. Este fato pode ser explicado em função da idade da muda quando foram iniciados os tratamentos. Em vez dos tratamentos de estresse hídrico terem sido iniciados aos 50 dias, como estava previsto no projeto, somente foram iniciados aos 70 dias. Nesta idade, as mudas em tubetes de 55 cm<sup>3</sup> já tinham passado pela fase de rápido crescimento e, sendo assim, mesmo as mudas que sofreram pequeno estresse hídrico não apresentaram crescimento equivalente ao daquelas submetidas a forte estresse.

No caso do T1 (subirrigação contínua) a situação foi bastante favorável ao crescimento, pois as mudas desse tratamento não foram submetidas ao

estresse hídrico. A presença contínua de água permite a turgidez das células dos estômatos fazendo com que estes fiquem abertos mesmo em condições desfavoráveis de temperatura e radiação solar. Como consequência, tem-se uma grande transpiração das plantas, mas em compensação elas não param de fotossintetizar, resultando num maior desenvolvimento, como foi o observado.

TABELA 4. ALTURA MÉDIA DA PARTE AÉREA (H) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	H (cm)	
T1	70,53	a
T2	52,15	b
T3	48,95	b
T4	51,25	b
T5	50,95	b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=7,75

CLEMENS & JONES (1978), estudando diferentes níveis de sombreamento, nutrição e irrigação em espécies de *Acacia* e *Eucalyptus*, concluíram que o condicionamento ao estresse hídrico teve pouco ou nenhum efeito sobre a altura das plantas.

Da mesma forma, RAWAT *et al.* (1984) trabalhando com *Eucalyptus tereticornis* mantidos constantemente sob diferentes níveis de umidade do solo, constataram que o crescimento em altura ao final de 15 meses do experimento foi similar em todos os tratamentos. Concluíram, então, que o crescimento em altura não foi proporcional ao decréscimo na umidade do solo.

Já WANG *et al.* (1988), estudando relações hídricas e desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus globulus* subespécie *globulus* e *Eucalyptus globulus* subespécie *bicostata* chegaram à conclusão que a altura da parte aérea das mudas de ambas as subespécies diminuiu com o aumento do estresse hídrico. O estresse hídrico reduziu o crescimento mais acentuadamente em *E.globulus* subespécie *globulus* do que em *E.globulus* subespécie *bicostata*. A procedência do *E.bicostata* usada ocorre em áreas com precipitação anual de 514 mm tendo máxima precipitação no inverno, já o *E.globulus* cresce em áreas com precipitação uniformemente distribuída de 736 mm.

No trabalho de OLIVA *et al.* (1989), o déficit hídrico causou um decréscimo na altura de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* produzidas em vasos, em casa de vegetação.

SASSE *et al.* (1996), trabalhando com estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus globulus* produzidas através de estaquia e de sementes, concluíram que a taxa de crescimento em altura foi semelhante para ambos os tipos de mudas, e que o estresse hídrico reduziu a taxa de crescimento em altura em 15%.

MYERS & LANDSBERG (1989) estudando estresse hídrico em *Eucalyptus brockwayi* e em *Eucalyptus maculata* concluíram que a aplicação de um estresse moderado por um longo tempo foi mais prejudicial para o crescimento do que um estresse severo por um curto período.

#### 4.1.2 Diâmetro de colo da muda (D)

Como mostra a Tabela 5, o tratamento T3 foi o que apresentou a maior média em diâmetro de colo. Os tratamentos T2 e T4 vieram em seguida não diferindo estatisticamente entre si. Os tratamentos T1 e T5 apresentaram as menores médias, porém não diferem de T2 e de T4.

TABELA 5. VALORES MÉDIOS DO DIÂMETRO DE COLO (D) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	D (mm)
T1	3,49 b
T2	3,63 ab
T3	3,79 a
T4	3,59 ab
T5	3,46 b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=8,87

SASSE *et al.* (1996), trabalhando com estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus globulus* produzidas através de estaquia e de sementes, concluíram que as taxas de crescimento em diâmetro foram reduzidas pelo estresse hídrico em ambas as formas de produção de mudas, porém quando submetidas a tratamentos sem déficit hídrico as estacas apresentaram um diâmetro 25% menor do que as mudas produzidas via sementes.

#### 4.1.3 Altura da parte aérea : diâmetro de colo (H:D)

Na Tabela 6, observa-se que as mudas sem déficit hídrico durante a rustificação (T1) apresentaram a maior relação H:D e difere estatisticamente das demais. Isso implica que T1 pode ser um tipo de muda mais frágil por apresentar desproporção grande entre essas medidas, ou seja, muito alta e com pouco diâmetro. Uma muda dessas quando levada ao campo tem menor probabilidade de sobrevivência.

Segundo CARNEIRO (1995), a avaliação da qualidade das mudas, por meio deste parâmetro, não é feito, necessariamente, apenas na época da expedição para o campo. As medições podem ser feitas, aproximadamente, na metade do período de produção e repetidas posteriormente para se acompanhar o desenvolvimento das mudas. Assim, pode-se verificar a necessidade ou não de algum tipo de intervenção técnica no manejo do viveiro.

TABELA 6. MÉDIA DA RELAÇÃO ALTURA DA PARTE AÉREA : DIÂMETRO DE COLO (H:D) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	H:D
T1	20,30 a
T2	14,48 b
T3	12,96 c
T4	14,40 b
T5	14,77 b

\*médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=9,40

#### 4.1.4 Peso de matéria verde da parte aérea (PVA)

Cabe ressaltar que para fazer as medições morfológicas as mudas receberam o mesmo manejo, ou seja, elas foram irrigadas homogeneamente na noite anterior às determinações. O peso de matéria verde da parte aérea corresponde à soma do peso da haste e das folhas.

Com relação a esse parâmetro, pode-se dizer que seu aumento de valor está relacionado com o tipo de tecido que foi formado durante a rustificação, ou seja, a conformação das células com relação a tamanho, espessura, grau de lignificação. Conforme a Tabela 7, os tratamentos com maior grau de estresse hídrico (T4 e T5) apresentaram os menores valores de peso de matéria verde

da parte aérea (PVA). Os tratamentos com menos estresse (T1, T2 e T3) mostraram os maiores valores, porém não diferindo estatisticamente entre si.

TABELA 7. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA VERDE DA PARTE AÉREA (PVA) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	PVA (g)
T1	6,84 a
T2	6,44 a
T3	6,28 a
T4	5,31 b
T5	5,31 b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V.=16.51

#### 4.1.5 Peso de matéria verde da parte radicial (PVR)

Quando se verifica o peso de matéria verde da parte radicial (Tabela 8), observa-se que os tratamentos T1 e T2 foram os de maiores valores para esse item e não diferiram estatisticamente entre si. Os tratamentos T4 e T5 obtiveram valores inferiores e estatisticamente semelhantes entre si.

Como o comprimento da parte radicial foi semelhante para todos os tratamentos, já que esse crescimento está limitado ao tamanho do tubete, a diferença existente no peso radicial pode ser devido a um maior número de raízes ou a uma maior espessura dessas. Através dos dados pode-se concluir que o estresse hídrico teve efeito negativo sobre o acúmulo de matéria verde radicial.

TABELA 8. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA VERDE DA PARTE RADICIAL (PVR) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	PVR (g)	
T1	3,00	a
T2	3,01	a
T3	2,63	ab
T4	2,31	b
T5	2,40	b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=18,81

FARRELL *et al.* (1996 a) em sua pesquisa sobre respostas morfológicas e fisiológicas de mudas de seis clones de *Eucalyptus camaldulensis* produzidas em casa de vegetação e submetidos a tratamentos de estresse hídrico,



constatarem que os clones diferiram significativamente em sua capacidade de produzir raízes durante o período de estresse. Também verificaram uma correlação positiva entre área foliar e peso de matéria verde da parte radicial.

#### 4.1.6 Peso total de matéria verde (PVT)

Assim como no peso de matéria verde da parte aérea, o peso total de matéria verde (Tabela 9) apresenta as maiores médias com os tratamentos de menor estresse hídrico (T1, T2 e T3) não diferindo entre si estatisticamente. Os tratamentos T4 e T5 foram os que apresentaram os menores pesos indicando que o estresse hídrico prejudicou o desenvolvimento da muda. A água com certeza é o maior limitante do acúmulo de massa.

TABELA 9. MÉDIA DO PESO TOTAL DE MATÉRIA VERDE (PVT) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	PVT (g)
T1	9,83 a
T2	9,45 a
T3	8,90 a
T4	7,62 b
T5	7,71 b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=14,96

FARRELL *et al.* (1996 b) concluíram que sob condições de estresse hídrico a capacidade de seis clones de cinco procedências de *Eucalyptus camaldulensis* para produzir biomassa está relacionada com a eficiência do uso de água pela planta.

#### 4.1.7 Peso de matéria seca da parte aérea (PSA)

Como se observa na Tabela 10, os tratamentos T1 e T2 foram semelhantes estatisticamente e tiveram médias superiores aos demais tratamentos. Pode-se concluir com isto que realmente a diminuição de água promove uma desaceleração no crescimento, refletindo no total de matéria seca produzida. A presença da água nos tecidos das folhas faz com que as células dos estômatos fiquem túrgidas e, portanto, abertas, captando carbono e energia luminosa para fotossintetizar. Mesmo nas horas de maior radiação solar, em que normalmente os estômatos estão fechados para evitar excesso de transpiração, no caso do tratamento com subirrigação contínua isso não acontece, pois a demanda evaporativa da planta é compensada pela presença constante de água. Pode acontecer que, em certo momento, a absorção de água pela planta possa ser menos veloz que a perda por transpiração, e então os estômatos podem ficar parcialmente fechados. Da mesma forma que o tratamento anterior, as plantas submetidas a pequeno estresse hídrico faz com que o tempo que os estômatos ficam fechados seja reduzido. Como resultado,

tem-se um maior desenvolvimento, que é mostrado aqui pelo peso da matéria seca aérea.

As mudas dos tratamentos que tiveram escassez de água durante sua rustificação (T4 e T5) apresentaram valores estatisticamente inferiores, possivelmente pela redução fotossintética. A planta apresenta como mecanismo de defesa o fechamento dos estômatos e quando se desenvolve em condições de estresse hídrico acentua esses mecanismos. Como consequência, consegue suportar esta adversidade, porém tem seu desenvolvimento reduzido.

TABELA 10. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA (PSA) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	PSA (g)	
T1	1,96	a
T2	2,03	a
T3	1,83	ab
T4	1,61	b
T5	1,56	b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V.=18,24

PEREIRA & KOZLOWSKI (1976), estudando relações hídricas e anatomia foliar de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus globulus* observaram que o estresse hídrico aumentou de forma mais rápida em *E. camaldulensis*. Durante as duas primeiras semanas, o aumento de peso seco da parte aérea e da parte radicial foi maior em *Eucalyptus globulus* que em *E. camaldulensis*. Entretanto, depois desse período, os crescimentos da parte aérea e da parte radicial foram acelerados em *E. camaldulensis*, o que fez com que esta espécie superasse o *E. globulus*.

WANG *et al.* (1988) concluíram que o total de biomassa e também o peso seco da parte aérea das espécies *Eucalyptus globulus* subespécies *globulus* e *bicostata* foram aumentados significativamente pela adubação e pela irrigação. Para ambos os parâmetros a interação água x fertilizante foi significativa.

#### 4.1.8 Peso de matéria seca da parte radicial (PSR)

Através da Tabela 11 nota-se que, estatisticamente, T4 e T5 (maiores estresses hídricos) tiveram valores inferiores de peso de matéria seca radicial com relação aos demais tratamentos. Porém, do ponto de vista estatístico não houve diferença entre os tratamentos de maior estresse (T4 e T5) com os de menor estresse hídrico (T1 e T3), exceção feita ao T2. O fato de o comprimento das raízes ter sido semelhante estatisticamente para todos os tratamentos, pela

limitação imposta pelo volume da embalagem (tubete), o peso de matéria seca da parte radicial também fica vinculada a esta limitação.

TABELA 11. MÉDIA DO PESO DE MATÉRIA SECA DA PARTE RADICIAL (PSR) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	PSR (g)	
T1	0,5145	ab
T2	0,5890	a
T3	0,5585	ab
T4	0,5080	b
T5	0,5015	b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V.=16,61

Na pesquisa de WANG *et al.* (1988), o peso da matéria seca radicial foi aumentado pelo fertilizante e água, mas houve uma significativa interação subespécie x água. O peso da matéria seca radicial não foi afetado pelo estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus globulus* subespécie *bicostata* mas foi reduzido em mudas de *E. globulus* subespécie *globulus*.

#### 4.1.9 Peso total de matéria seca (MS)

Em termos estatísticos, os resultados do peso total de matéria seca se assemelham ao peso de matéria seca da parte aérea, como mostra a Tabela 12. Os tratamentos T1 e T2, que foram semelhantes entre si, apresentaram os maiores valores. Os tratamentos mais estressados hidricamente (T4 e T5) foram semelhantes entre si e obtiveram os menores valores de matéria seca total.

Entretanto, não significa dizer que as mudas com menores pesos de matéria seca são inferiores. Esse é apenas um dos parâmetros para analisar alterações que ocorreram na planta em função da quantidade de água aplicada. Isoladamente, matéria seca total das mudas não é um bom referencial de qualidade da muda.

TABELA 12. MÉDIA DO PESO TOTAL DE MATÉRIA SECA (MS) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	MS (g)	
T1	2,47	a
T2	2,62	a
T3	2,39	ab
T4	2,12	b
T5	2,06	b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=16,88

RAWAT *et al.* (1984) trabalhando com *Eucalyptus tereticornis* encontraram o máximo valor de matéria seca em plantas mantidas sob umidade de 24-26% e o mínimo em plantas com 4-6% de umidade no solo.

MYERS & LANDSBERG (1989) concluíram que o tratamento com estresse hídrico causou grande diferença na taxa de crescimento, levando a uma diferença significativa na produção de matéria seca após seis semanas para *Eucalyptus maculata* e após 10 semanas para *Eucalyptus brockwayi*. Em todos os tratamentos, as mudas de *E. maculata* produziram mais matéria seca do que mudas de *E. brockwayi*, mas as diferenças foram maiores em plantas do tratamento com maior quantidade de água e menores em plantas mais estressadas.

OLIVA *et al.* (1989) estudando estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus camaldulensis* observaram que houve um decréscimo de matéria seca causada pelo déficit hídrico.

4.1.10 Relação peso total de matéria seca : peso total de matéria verde (MS:PVT) e peso total de matéria verde : peso total de matéria seca (PVT:MS)

Os dados da relação MS:PVT ou PVT:MS não mostraram uma relação direta com o nível de estresse hídrico, como observado através da Tabela 13.

TABELA 13. RELAÇÃO PESO TOTAL DE MATÉRIA SECA : PESO TOTAL DE MATÉRIA VERDE (MS:PVT) E PESO TOTAL DE MATÉRIA VERDE : PESO TOTAL DE MATÉRIA SECA (PVT:MS) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	MS:PVT	PVT:MS
T1	0,25 b	4,02 a
T2	0,28 a	3,63 b
T3	0,27 a	3,76 b
T4	0,28 a	3,60 b
T5	0,27 a	3,74 b

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=6,30 e C.V.=6,97, para ms/pvt e pvt/ms, respectivamente.

MYERS & NEALES (1986), estudando ajuste osmótico de mudas de *Eucalyptus behriana*, *Eucalyptus microcarpa* e *Eucalyptus polyanthemos*, em vaso, concluíram que o valor médio da relação PVT:MS foi significativamente menor para mudas que foram submetidas a dois ciclos de seca (3,82) do que aquelas submetidas a um único ciclo de seca (4,05). O efeito de espécie não foi significativo.

No estudo de WANG *et al.* (1988) sobre relações hídricas e crescimento de mudas de *Eucalyptus globulus* subespécie *globulus* e *E.globulus* subespécie *bicostata*, o estresse hídrico reduziu o conteúdo relativo de água em 2-3% no



ponto zero de turgor mas a relação PVT:MS foi reduzida pelo estresse hídrico somente em *E. globulus* subespécie *bicostata*. Esse decréscimo na relação peso verde/peso seco do *E. globulus* subespécie *bicostata* e a redução do potencial osmótico mostraram estar estatisticamente relacionados, sugerindo que a menor parte do ajuste osmótico possa ser devido à diminuição na hidratação da folha ou ao decréscimo do tamanho da célula. Concluíram ainda que essa relação PVT:MS foi maior em mudas fertilizadas do que em mudas não fertilizadas.

CORREIA *et al.* (1989), estudando o efeito da irrigação e fertilização sobre relações hídricas de folhas jovens de mudas de *Eucalyptus globulus* encontraram valores da relação peso seco foliar/ peso verde de 0,26 a 0,41.

Contrariamente, STONEMAN *et al.* (1994) concluíram que a relação MS:PVT de mudas de *Eucalyptus marginata* bem irrigadas foi 0,28 e esta aumentou para 0,46 em mudas submetidas a seca por 20 dias. A alteração nesta relação foi correlacionada com mudanças na pressão osmótica no ponto máximo de turgor.

#### 4.1.11 Área foliar (AF)

Os resultados da área foliar das mudas, observados através da Tabela 14, mostram que o estresse hídrico também afetou a área foliar. No tratamento T1 (subirrigação contínua) o que se observou foi que, apesar dele apresentar maior desenvolvimento da parte aérea, as folhas se encontravam mais

espaçadas ao longo da haste e possuíam uma forma mais estreita, contribuindo para que não tivesse tido uma área foliar superior aos demais tratamentos. Ao contrário, as mudas dos tratamentos com maior estresse e, conseqüentemente, menos desenvolvidas, apresentavam folhas mais largas e com menor distância entre elas.

TABELA 14. ÁREA FOLIAR MÉDIA (AF) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	AF (cm <sup>2</sup> )	
T1	166	ab
T2	173	a
T3	182	a
T4	142	c
T5	144	bc

\*médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V.=16,32

Quando tem um crescimento muito rápido da haste, mais cedo se verifica uma competição entre plantas e a tendência é que as folhas se distribuam mais espaçadamente. Em contrapartida, quando esse crescimento torna-se mais lento, essa distância entre as folhas diminui.

Os tratamentos T3, T2 e T1 (com grau de estresse menor) apresentaram valores de área foliar superiores e estatisticamente semelhantes entre si, sendo que T1 mostrou-se semelhante também ao tratamento T5. Os tratamentos com maior grau de estresse (T4 e T5) apresentaram os menores valores de área foliar não diferindo entre si.

Em estudo com espécies de *Acacia* e *Eucalyptus* sob diferentes níveis de sombreamento, nutrição e irrigação, CLEMENS & JONES (1978) concluíram que o condicionamento ao estresse hídrico teve pouco ou nenhum efeito sobre a área foliar dessas espécies.

WANG *et al.* (1988) chegaram à conclusão que o fertilizante aumentou a área foliar e, por sua vez, o estresse hídrico a reduziu tanto em mudas fertilizadas como nas não fertilizadas de *Eucalyptus globulus* subespécie *globulus* e *Eucalyptus globulus* subespécie *bicostata*. O estresse hídrico, entretanto, reduziu a área foliar mais nas mudas fertilizadas do que nas não fertilizadas, em ambas as subespécies.

MYERS & LANDSBERG (1989) observaram uma redução de 20% do tamanho médio da folha, entre os tratamentos T100 (testemunha - supridas com 100% de sua necessidade de água) e T40 (supridas com 40% de sua necessidade de água) para a espécie *E. maculata*. Reduções na área foliar foram atribuídas principalmente à redução na taxa de emergência foliar e, numa menor intensidade, à redução do tamanho médio da folha. Ao final do estudo, observaram também que mudas do T100 tiveram maior percentagem de folhas jovens do que as mudas estressadas.

PEREIRA *et al.* (1992) concluíram que o aumento na produção de biomassa de plantas irrigadas e fertilizadas resultou em grande parte dos aumentos da área foliar e da interceptação da radiação pela copa. Os dados confirmam que, num longo período, diferenças na produtividade entre a testemunha e as plantas irrigadas e fertilizadas não foram devido a um aumento na fotossíntese por unidade de área foliar ou por unidade de peso seco, mas foi resultado do aumento na capacidade de formar novas folhas.

STONEMAN *et al.* (1994), estudando crescimento foliar em mudas de *Eucalyptus marginata* chegaram à conclusão de que as folhas de mudas estressadas pararam seu crescimento e por 13 dias tiveram uma redução da área foliar, presumivelmente porque ficaram severamente desidratadas.

#### 4.1.12 Peso específico foliar (PEF)

De acordo com a Tabela 15, observa-se que o peso específico foliar foi influenciado pelo estresse hídrico. As mudas mais estressadas tiveram os menores pesos específicos foliares. O tratamento submetido a subirrigação contínua (T1) obteve o maior peso específico foliar, sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos.

TABELA 15. PESO ESPECÍFICO FOLIAR MÉDIO (PEF) DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	PEF (g/m <sup>2</sup> )
T1	101,30 a
T2	87,74 b
T3	84,45 bc
T4	82,06 bc
T5	73,43 c

\*médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.C.V.=16,32

Da mesma forma, CORREIA *et al.* (1989) obtiveram resultados em que plantas não irrigadas tiveram menor peso específico foliar do que as irrigadas ou as plantas fertilizadas e irrigadas. Por sua vez, as plantas fertilizadas e não fertilizadas não diferiram estatisticamente entre si.

Em uma pesquisa sobre aplicação de ácido abscísico e subsequente estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, GIBSON *et al.* (1991) concluíram que as alterações foram maiores quando o ácido abscísico foi aplicado, sendo que as mudanças morfológicas ocorridas incluíram a supressão do crescimento apical e o aumento do peso específico foliar.

FARRELL *et al.*(1996 a) pesquisando respostas morfológicas e fisiológicas de mudas de seis clones de *Eucalyptus camaldulensis* produzidas em casa de vegetação e submetidos a tratamentos de estresse hídrico, constataram que clones que produziram grande número de folhas tiveram folhas com baixo peso específico, enquanto clones que produziram poucas folhas tiveram folhas relativamente com alto peso específico.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

### 4.2.1 Clorofila

Observando a Tabela 16 verifica-se que as folhas basais apresentaram um maior teor de clorofila que as folhas medianas. Há uma tendência de diminuição do teor de clorofila no sentido da base para o ápice.

Os resultados do teor médio de clorofila foram obtidos pela média dos valores das folhas basais e medianas. Através dos resultados verifica-se que o manejo hídrico não afetou o teor de clorofila das mudas, pois este está mais relacionado com o nível de radiação solar a que as mudas foram submetidas.

TABELA 16. MÉDIA DOS TEORES DE CLOROFILA DAS FOLHAS DA PARTE BASAL E MEDIANA DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Trat.	Clorofila parte basal (mg/m <sup>2</sup> )	Clorofila parte mediana (mg/m <sup>2</sup> )	Teor médio de clorofila (mg/m <sup>2</sup> )
T1	472,90 a	423,00 a	447,95 a
T2	488,65 a	430,50 a	459,58 a
T3	486,70 a	444,95 a	465,83 a
T4	454,75 a	442,95 a	448,85 a
T5	488,10 a	431,00 a	459,55 a

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. C.V.=12,88; 7,48; 9,13 para clorofila da folha basal, mediana e média geral, respectivamente.

No trabalho de PEREIRA *et al.* (1992), a capacidade fotossintética das folhas, interpretada pela concentração de clorofila foliar, não foi afetada pelo tratamento de irrigação e fertilizante.

#### 4.2.2 Potencial hídrico foliar

Essas medições refletem apenas o grau de tensão hídrica que as folhas foram submetidas durante o período de rustificação. Essas tensões geraram

alterações anatômicas e fisiológicas que devem ter provocado diferenças no potencial hídrico foliar da planta. Porém, os potenciais hídricos máximo (ao amanhecer) e mínimo (ao meio-dia) não foram medidos neste trabalho.

De acordo com a Tabela 17, observa-se que quando o substrato estava sendo submetido a uma tensão de -1,5 MPa (T5), as mudas nele contidas apresentavam uma tensão foliar de -1,2 MPa, ou seja, uma tensão menor. Já para os demais tratamentos ocorreu o inverso, pois a tensão foliar se apresentou maior que a tensão que o substrato estava sendo submetido. Estes resultados podem sugerir que existe um ponto onde a planta começa utilizar de mecanismos para suportar um déficit hídrico pronunciado.

TABELA 17. MÉDIA DO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, MEDIDO NO PONTO CORRESPONDENTE AO NÍVEL DE ESTRESSE HÍDRICO A QUE FOI SUBMETIDO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	Tensão de retenção de água pelo substrato (MPa)	Potencial hídrico (MPa)	
T1	0	- 0,28	d
T2	- 0,05	- 0,27	d
T3	- 0,10	- 0,56	c
T4	- 0,50	- 0,82	b
T5	- 1,50	- 1,20	a

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V.= 41,02



MYERS & NEALES (1986), estudando o ajuste osmótico em mudas de *Eucalyptus behriana*, *E.microcarpa* e *E.polyanthemos* submetidas a 1 e 2 períodos de seca, chegaram à conclusão que a exposição a dois períodos de seca aumentou a magnitude do ajuste osmótico (aumento de 0,36 MPa no potencial hídrico), comparado com as mudas submetidas a apenas um período de seca (aumento de 0,20 MPa no potencial hídrico). O aumento observado no potencial hídrico após repetidas secas pode ser parcialmente explicado pela concentração de solutos causado pela redução no tamanho da célula. Além disso, a elasticidade do tecido foi maior em mudas sujeitas a dois ciclos de seca do que em mudas sujeitas a somente um ciclo.

WANG *et al.* (1988) estudando relação hídrica e fertilização em *Eucalyptus globulus* subespécie *globulus* e *E.globulus* subespécie *bicostata* concluíram que o estresse hídrico reduziu mais a condutância estomática em mudas não fertilizadas do que em mudas fertilizadas. O estresse hídrico baixou significativamente o potencial osmótico em *E. globulus* subespécie *bicostata*.

KOPPENAAL *et al.* (1991) concluíram que o potencial osmótico no ponto de perda de turgor na parte aérea e nas raízes de *Pinus banksiana* e *Picea glauca* foram menores em mudas estressadas. O ajuste osmótico no ponto de perda de turgor em *Pinus banksiana* foi 0,28 MPa e 0,14 MPa para parte aérea e raiz, respectivamente, embora proporcionalmente o declínio foi aproximadamente igual. Em *Picea glauca*, o estresse hídrico resultou num maior decréscimo no potencial osmótico no ponto de perda de turgor nas raízes (0,28 MPa) do que na parte aérea (0,19 MPa).

STONEMAN *et al.* (1994), estudando relação hídrica do tecido em mudas de *Eucalyptus marginata* durante um ciclo de seca e reidratação, em casa de vegetação, verificaram 15 dias após a água ser suprimida, quando o potencial hídrico ao amanhecer estava ao redor de -1,5 MPa, que a relação hídrica do tecido da parte aérea de plantas estressadas não foi significativamente diferente daquelas plantas bem irrigadas. Entretanto, nos 5 dias subsequentes, o potencial hídrico ao amanhecer caiu para -2,5 MPa, o conteúdo relativo de água no ponto zero de turgor diminuiu de aproximadamente 80 para 73%. A pressão osmótica no ponto de turgor máximo aumentou de 1,14 MPa em mudas bem irrigadas para 1,54 MPa em mudas submetidas a seca por 20 dias, sugerindo um ajuste osmótico de 0,4 MPa como resultado do déficit hídrico.

#### 4.2.3 Transpiração

A transpiração é realmente importante para caracterizar o sucesso no estabelecimento das mudas no campo. Alterações morfológicas, principalmente quanto à sua anatomia interna, fisiológicas e nutricionais, desencadeadas pelo processo de rustificação da muda, vão refletir numa menor quantidade de perda de água pela planta.

Estas mudanças morfológicas, fisiológicas e nutricionais que ocorrem em função de manejos hídricos, resultam em uma maior eficiência no uso de água pela planta.

Os resultados obtidos neste trabalho (Tabela 18) retratam o que ocorre na planta quando submetida a diferentes manejos hídricos durante a fase de rustificação.

As mudas que foram submetidas a maiores estresses hídricos (T4 e T5) responderam a estes tratamentos reduzindo significativamente suas taxas de transpiração. Esta redução é reflexo de uma maior eficiência no fechamento estomático e é muito importante do ponto de vista adaptativo, pois quando essas plantas são submetidas a condições pouco favoráveis à sua sobrevivência e ao seu desenvolvimento, que é o caso do campo, elas respondem melhor a essa situação, não sendo tão prejudicada quanto aquelas que não sofreram uma rustificação adequada. Isto significa que as mudas mais estressadas vão otimizar o uso de água quando estiverem no campo, o que pode representar não somente um maior desenvolvimento em termos de biomassa, mas em casos de ambientes mais secos, a garantia de uma maior chance de sobrevivência.

As mudas dos tratamentos com menor nível de estresse hídrico (T1, T2 e T3) provavelmente não sofreram muitas alterações, e, portanto, seus mecanismos de defesa contra estresses hídricos foram pouco desenvolvidos.

TABELA 18. ESTIMATIVA, ATRAVÉS DE PESAGENS, DA TRANSPIRAÇÃO DAS MUDAS DE *Eucalyptus grandis*, AOS 100 DIAS DE IDADE, SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO DURANTE A RUSTIFICAÇÃO

Tratamentos	Estimativa da transpiração (mgH <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	
T1	16,40	a
T2	13,56	b
T3	11,76	b
T4	9,02	c
T5	7,65	c

médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V.=22,71

KAUL & NEGI (1979), comparando taxas de transpiração de seis espécies de eucalipto, verificaram que a média semanal da perda de água em mudas irrigadas e não irrigadas indicam que houve pequena alteração nas taxas de transpiração de plantas irrigadas das diferentes espécies. Como esperado houve também um decréscimo na taxa de transpiração de mudas não irrigadas em função do aumento do déficit hídrico interno.

RAWAT *et al.* (1985), estudando a taxa de transpiração em espécies de *Eucalyptus* mantidas constantemente sob diferentes níveis de umidade no solo verificaram que as plantas mantidas na capacidade de campo (24-26%), apresentaram elevada transpiração. O grande aumento na quantidade de água

transpirada por plantas mantidas na capacidade de campo é devido à disponibilidade de umidade no solo juntamente com uma adequada pressão de turgor nas células das folhas.

Já no estudo de MYERS & LANDSBERG (1989), a taxa de transpiração não foi afetada pela intensidade do estresse hídrico aplicado, mas foi fortemente afetado pelas espécies e pelo tamanho da planta.

SASSE *et al.* (1996), estudando estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus globulus* produzidas através de estaquia e de sementes, constataram que as mudas, via sementes, submetidas a estresse hídrico sobreviveram num baixo conteúdo de água no solo. Entretanto, as mudas, via estacas, que foram submetidas a estresse hídrico morreram num alto conteúdo de água no solo. Concluíram, então, que a exposição a um estresse hídrico moderado não foi eficiente em mudas produzidas através de estacas e que sua capacidade em resistir a um estresse extremo pode ser limitado. Estas características são, provavelmente, associadas com o sistema radicial das mudas por estacas as quais diferem do sistema radicial das mudas por sementes em seu desenvolvimento, arquitetura e anatomia.

Um outro resultado bastante interessante para se discutir é ilustrado na Figura 2, mostrando o comportamento da planta quanto à perda de água ao longo do dia. Verificou-se que as curvas representativas dos tratamentos de pouco estresse (T1 e T2) são bem distintas daqueles mais estressados (T4 e T5). Enquanto os tratamentos T4 e T5 tiveram pouca variação em seus valores máximos e mínimos, nos tratamentos T1 e T2 esta variação foi bem pronunciada. Mesmo nas horas mais quentes do dia, as plantas mais estressadas (T4 e T5) controlaram bem a perda de água, ao contrário das plantas menos estressadas (T1 e T2).

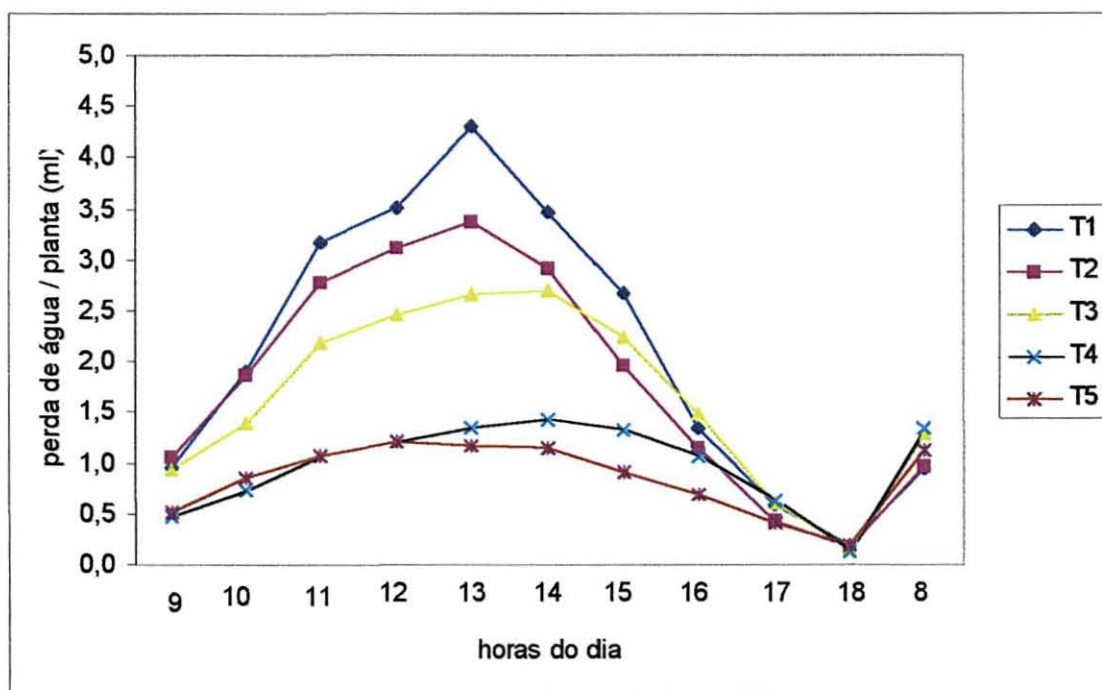


FIGURA 2. PERDA DE ÁGUA EM MUDAS DE *Eucalyptus grandis*

### 4.3 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS

#### 4.3.1 Substrato

##### 4.3.1.1 pH

Observando a Tabela 19 pode-se verificar que a média do pH entre as 3 partes do substrato são iguais para todos os tratamentos. Comparando o valor do pH no início (4,4) e no final da rustificação observa-se que não houve variação, indicando que o procedimento metodológico empregado para a rustificação não causou alteração no pH do substrato. Ao comparar com o pH do substrato comercial (5,2) verifica-se que houve uma diminuição de cerca de 15% ao final do experimento.

TABELA 19. pH DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE

Trat.	parte inferior do tubete	parte mediana do tubete	parte superior do tubete	média
T1	4,40	4,40	4,50	4,40
T2	4,30	4,30	4,50	4,40
T3	4,30	4,40	4,50	4,40
T4	4,30	4,30	4,60	4,40
T5	4,30	4,40	4,60	4,40

Analisando a mesma Tabela, verifica-se que, regra geral, o pH aumentou no sentido inferior para superior do tubete, independente do tratamento hídrico, porém esse aumento, embora pequeno, foi numericamente maior quanto maior o estresse hídrico. Dessa forma, tem-se para T4 e T5 uma variação do pH entre as partes inferior e superior de 0,3. Para T2 e T3 esse aumento foi de 0,2 e T1 variou apenas 0,1. Esses resultados se devem ao processo de irrigação utilizado. Conforme o substrato vai sofrendo o efeito da evaporação, os nutrientes vão se movimentando ao longo do tubete e se concentrando na parte superior próximo à superfície do substrato de acordo com a maior ou menor solubilidade da fonte de nutriente e a capacidade de retenção do próprio substrato. Quando existe pouco déficit hídrico no substrato a alteração não é tão intensa, pois a umidade não varia tanto ao longo do perfil do tubete, diferentemente daqueles com estresse hídrico pronunciado.

#### 4.3.1.2 Teor de Fósforo (P)

Nota-se, através da Tabela 20, uma diferença de 28% entre T5 (o maior teor médio de P) e T1 (o menor teor médio de P).

Observa-se que o teor de fósforo ao final da rustificação foi positivamente relacionado com o nível de estresse hídrico, ou seja, quanto maior foi o estresse maior o teor de fósforo no substrato.



No início da rustificação, o teor de fósforo no substrato era de 365  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  de substrato. Ao comparar com os valores médios do final da rustificação (Tabela 20) nota-se que a variação do teor de fósforo foi grande nos tratamentos com pouco estresse hídrico, sendo 34%, 32% e 29% para T1, T3 e T2, respectivamente. Nos tratamentos de estresse hídrico severo essa variação diminuiu bastante ficando em 19% para T4 e 8% para T5.

TABELA 20. TEOR DE FÓSFORO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  de substrato)

Trat.	parte inferior do tubete	parte mediana do tubete	parte superior do tubete	média
<b>T1</b>	147	215	359	240
<b>T2</b>	185	267	329	260
<b>T3</b>	171	195	378	248
<b>T4</b>	166	251	471	296
<b>T5</b>	166	318	522	335

É interessante notar que mesmo com a subirrigação existiu uma diminuição considerável no teor de P. Pode-se dizer que essa diminuição foi devido à lixiviação pois os teores não foram aumentados na planta com a diminuição do estresse.

Verifica-se ainda que o teor de P é crescente no sentido inferior-superior do tubete em todos os tratamentos. Esses fatos mostram a grande mobilidade do ânion fosfato no interior de um substrato com baixa capacidade de retenção aniônica, como o que é habitualmente utilizado na produção de mudas em tubetes, movimentando-se, diferentemente de um solo, no fluxo de massa da água.

#### 4.3.1.3 Teor de Potássio (K)

Através da Tabela 21, constata-se que a diferença percentual do maior valor médio de K (T5) com o menor (T1) é de 39% .

TABELA 21. TEOR DE POTÁSSIO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (meq/100cm<sup>3</sup> de substrato)

Trat.	parte inferior do tubete	parte mediana do tubete	parte superior do tubete	média
<b>T1</b>	0,49	0,20	0,11	0,27
<b>T2</b>	0,48	0,39	0,16	0,34
<b>T3</b>	0,48	0,29	0,20	0,32
<b>T4</b>	0,55	0,40	0,21	0,39
<b>T5</b>	0,59	0,49	0,25	0,44

Ao contrário do P, o K teve seu teor diminuído no sentido parte inferior-superior do tubete em todos os tratamentos (Tabela 21). A diferença entre o teor do potássio da parte inferior e da superior foi percentualmente menor quanto maior o estresse hídrico.

As diminuições dos teores de K levando em consideração o valor obtido no início da rustificação (0,58 meq/100cm<sup>3</sup> de substrato) com os valores médios ao final dos tratamentos foram menores naqueles com maior estresse hídrico, com uma inversão do T2 com o T3. Os valores percentuais das diminuições de potássio são os seguintes : 24; 33; 41; 45 e 53 para T5, T4, T2, T3 e T1, respectivamente.

#### 4.3.1.4 Teor de Cálcio (Ca)

Analisando o teor de Ca obtido no início (14,00 meq/100cm<sup>3</sup> de substrato) e no final da rustificação (Tabela 22), verifica-se que para os tratamentos T1 e T3 esse valor não se alterou, significando que não houve perda desse nutriente durante essa fase. Esse resultado pode ser explicado pelo fato do cálcio ser um cátion bivalente que seria fortemente retido pelas cargas da vermiculita e da matéria orgânica. O fato de T2, T4 e T5 ter tido um pequeno acréscimo é mais um resultado do processo de amostragem, talvez um erro de determinação e como não se tem repetições não é possível confirmar o resultado.

A distribuição desse nutriente ao longo do tubete variou, sendo crescente da parte inferior para superior. E o aumento verificado nesse sentido foi maior para os tratamentos com maior estresse hídrico. Esse fato decorre de se ter também, além do calcário o sulfato de cálcio como fonte de fósforo, e a molécula de sulfato de cálcio ser bastante móvel, sendo arrastada com o fluxo da água no substrato.

TABELA 22. TEOR DE CÁLCIO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (meq/100cm<sup>3</sup> de substrato)

Trat.	parte inferior do tubete	parte mediana do tubete	parte superior do tubete	média
<b>T1</b>	12,00	15,00	15,00	14,00
<b>T2</b>	12,00	16,00	15,00	14,33
<b>T3</b>	13,00	14,00	15,00	14,00
<b>T4</b>	12,00	13,00	18,00	14,33
<b>T5</b>	12,00	14,00	20,00	15,33

#### 4.3.1.5 Teor de Magnésio (Mg)

Pode ser visto na Tabela 23 que os maiores teores de Mg no substrato foram encontrados na parte superior do tubete para todos os tratamentos, e mais acentuadamente para o tratamento T5.

Nos tratamentos T1, T3 e T4, houve uma ligeira diminuição na quantidade de Mg após a rustificação, já que no início dos tratamentos o valor obtido foi de 4,20 meq/100cm<sup>3</sup> de substrato. Nos tratamentos T5 e T2, esse teor teve um pequeno aumento. Também neste caso, o aumento não é possível ser explicado a não ser por questão do procedimento de amostragem.

TABELA 23. TEOR DE MAGNÉSIO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (meq/100cm<sup>3</sup> de substrato)

Trat.	parte inferior do tubete	parte mediana do tubete	parte superior do tubete	média
<b>T1</b>	2,80	4,00	5,00	3,93
<b>T2</b>	3,20	4,60	5,20	4,33
<b>T3</b>	3,40	3,40	4,80	3,87
<b>T4</b>	3,20	4,00	5,20	4,13
<b>T5</b>	3,20	4,00	6,40	4,53

#### 4.3.1.6 Teor de Ferro (Fe)

Da mesma maneira que o Mg, o teor médio mais elevado de Fe foi observado no tratamento T5 (Tabela 24). Mas o ferro apresentou um comportamento inverso quando se compara os teores ao longo do tubete. Aqui o ferro mostra uma tendência de diminuir da parte inferior para a parte superior. Comportamento inverso se dá no tratamento T5.

Um resultado bastante curioso é o relevante aumento dos teores de Fe quando comparado com os valores obtidos no início da rustificação (166,00 ppm). Um fato que pode explicar esses resultados é a mineralização da casca de pinus, que é rica em ferro, aumentando o nível desse nutriente ao longo da rustificação (comunicação verbal)\*.

TABELA 24. TEOR DE FERRO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm)

<b>Trat.</b>	<b>parte inferior do tubete</b>	<b>parte mediana do tubete</b>	<b>parte superior do tubete</b>	<b>média</b>
<b>T1</b>	308,00	226,00	201,60	245,20
<b>T2</b>	296,00	252,00	188,00	245,33
<b>T3</b>	284,00	248,00	182,00	238,00
<b>T4</b>	229,60	234,00	182,40	215,33
<b>T5</b>	229,60	464,00	360,00	351,20

Com relação à movimentação do Fe ao longo do tubete, observa-se que existe concentração maior deste nutriente na parte inferior do tubete. Apenas no tratamento de maior estresse hídrico (T5) esse fato se inverteu, tendo o substrato da parte superior maior teor que o da inferior.

\* MARCHESI, C.M. Comunicação verbal. Prof. Departamento de Ciências Florestais –UNESP- Botucatu. 1997.

#### 4.3.1.7 Teor de Manganês (Mn)

De acordo com a Tabela 25, o teor de manganês presente no substrato não respondeu aos tratamentos hídricos, tendo o tratamento T5 (maior estresse hídrico) e o T1 (menor estresse) os maiores teores deste nutriente.

Com relação a distribuição do Mn ao longo do tubete verifica-se que com exceção do tratamento T1 (subirrigação contínua) os demais tiveram teores maiores deste nutriente na parte superior do tubete. O T5 apresentou uma enorme variação entre a parte inferior e superior.

TABELA 25. TEOR DE MANGANÊS DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm)

<b>Trat.</b>	<b>parte inferior do tubete</b>	<b>parte mediana do tubete</b>	<b>parte superior do tubete</b>	<b>média</b>
<b>T1</b>	28,00	23,00	23,00	24,67
<b>T2</b>	13,70	14,80	22,10	16,87
<b>T3</b>	12,30	13,20	18,80	14,77
<b>T4</b>	11,20	12,60	21,80	15,20
<b>T5</b>	16,20	32,50	49,80	32,83

#### 4.3.1.8 Teor de Cobre (Cu)

Observando a Tabela 26 verifica-se que o tratamento T5 (maior estresse) teve o maior teor de cobre. Considerando que o valor obtido no início da rustificação foi de 5,8 ppm, nota-se que T5 aumentou o teor de cobre durante a rustificação. Nesse caso, a única explicação seria uma liberação de cobre da casca de pinus do substrato com a sua decomposição e, posteriormente, uma concentração do cobre na parte superior do substrato com a evaporação da água que o arrastou até a superfície do tubete (comunicação verbal)\*\*.

Observa-se também que existe uma pequena variação do teor de Cu no substrato das partes inferior e superior do tubete. O tratamento T5 foi o único que teve o Cu concentrado na parte superior do tubete.

TABELA 26. TEOR DE COBRE DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm)

Trat.	parte inferior do tubete	parte mediana do tubete	parte superior do tubete	média
<b>T1</b>	5,00	4,10	4,50	4,53
<b>T2</b>	4,90	4,60	4,30	4,60
<b>T3</b>	5,20	4,20	4,20	4,53
<b>T4</b>	4,60	4,40	4,20	4,40
<b>T5</b>	5,00	8,30	8,50	7,27

\*\* MARCHESI, C.M. Comunicação verbal. Professor do Departamento de Ciências Florestais – UNESP – Botucatu. 1997



#### 4.3.1.9 Teor de Zinco (Zn)

Pela Tabela 27, o tratamento T5 mais uma vez obteve valor superior aos demais, inclusive superior ao valor obtido no início da rustificação (37,70 ppm).

Observa-se que para os tratamentos de menor estresse hídrico praticamente não houve variação do Zn ao longo da distribuição do substrato no tubete. Já para T5 houve maior concentração na parte mediana e superior, sendo que a diferença entre estas partes e a inferior foi bastante elevada quando comparada aos demais tratamentos.

TABELA 27. TEOR DE ZINCO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm)

<b>Trat.</b>	<b>parte inferior do tubete</b>	<b>parte mediana do tubete</b>	<b>parte superior do tubete</b>	<b>média</b>
<b>T1</b>	34,80	33,30	33,70	33,93
<b>T2</b>	33,30	36,60	31,10	33,67
<b>T3</b>	32,60	33,30	30,00	31,97
<b>T4</b>	25,90	27,00	27,00	26,63
<b>T5</b>	31,10	59,20	59,20	49,83

#### 4.3.1.10 Teor de Boro (B)

O teor médio de boro, como pode ser observado pela Tabela 28, não variou significativamente entre os tratamentos e não apresentou relação com o nível de déficit hídrico. Analisando a distribuição do boro ao longo do tubete, verifica-se que os substratos dos tratamentos com maior déficit hídrico (T4 e T5) não apresentaram variação no teor de B em função da sua disposição no tubete. Nos outros tratamentos estes teores variaram, sendo que para o tratamento T1 e T3, o teor de boro foi maior no substrato na parte superior do tubete. Um resultado que fugiu do normal foi do T2 o qual apresentou teor semelhante entre a parte inferior e mediana e muito maior que na parte superior.

TABELA 28. TEOR DE BORO DO SUBSTRATO SUBMETIDO A DIFERENTES TENSÕES DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RETIRADO DE TRÊS PARTES DISTINTAS DO TUBETE (ppm)

<b>Trat.</b>	<b>parte inferior do tubete</b>	<b>parte mediana do tubete</b>	<b>parte superior do tubete</b>	<b>média</b>
<b>T1</b>	64,00	51,20	73,60	62,93
<b>T2</b>	73,60	73,60	38,40	61,87
<b>T3</b>	64,00	64,00	72,00	66,67
<b>T4</b>	64,00	64,00	64,00	64,00
<b>T5</b>	64,00	64,00	60,00	62,67

### 4.3.2 Planta

#### 4.3.2.1 Nitrogênio (N)

Através da Tabela 29, verifica-se que independente do nível de estresse hídrico sofrido pela planta, a concentração do nitrogênio nas folhas aumentou da base para o ápice, fato comum já que este é um elemento móvel na planta. Mas estes resultados também mostram que o nível máximo de estresse (T5) não foi suficiente para prejudicar a absorção do nitrogênio do substrato e nem mesmo a ciclagem interna com a translocação do N entre as folhas. Ainda observa-se que a concentração média foliar de N foi maior para os tratamentos T4 e T5 (mais estressados), sendo o valor de T3 bastante próximo de T4. As plantas com maior crescimento (menos estressadas) tiveram menor concentração deste nutriente, o que pode ser explicado pelo efeito de diluição.

TABELA 29. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
<b>T1</b>	0,73	0,50	1,08	1,27	1,62	1,32
<b>T2</b>	0,98	0,46	1,06	1,16	1,48	1,23
<b>T3</b>	0,87	0,53	1,29	1,40	1,75	1,48
<b>T4</b>	0,67	0,52	1,22	1,48	1,76	1,49
<b>T5</b>	0,70	0,53	1,32	1,55	1,90	1,59

Analisando a Tabela 30, a qual representa a quantidade total do N na planta, verifica-se que os menores valores de nitrogênio foram obtidos com os tratamentos com maior estresse hídrico (T4 e T5), fato explicado pela menor quantidade de matéria seca, pois houve um menor crescimento das plantas.

TABELA 30. QUANTIDADE TOTAL DE NITROGÊNIO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg)

Trat.	raiz	haste	folha	total
T1	3,72	5,55	11,09	20,36
T2	5,78	5,06	11,44	22,28
T3	4,87	5,14	12,88	22,89
T4	3,42	4,89	10,13	18,44
T5	3,50	4,66	10,97	19,13

#### 4.3.2.2 Fósforo (P)

A concentração de fósforo não teve relação com o nível de estresse hídrico (Tabela 31). Os percentuais encontrados em todas as partes da planta apresentaram valores altos quando comparados com valores encontrados no trabalho de MALAVOLTA *et al.* (1967): 0,18; 0,13 e 0,10 para raiz, haste e folha, respectivamente. A variação do percentual de P entre as folhas basais, medianas e apicais não foi grande, sendo que as folhas da parte apical sempre apresentaram os menores valores, com exceção do T1 que apresentou o

mesmo valor nas folhas basais e apicais. Este fato sugere a imobilidade desse nutriente.

TABELA 31. CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO (P) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%)

<b>Trat.</b>	<b>raiz</b>	<b>haste</b>	<b>folha basal</b>	<b>folha mediana</b>	<b>folha apical</b>	<b>média foliar</b>
<b>T1</b>	0,63	0,70	0,44	0,39	0,44	0,42
<b>T2</b>	0,43	0,64	0,46	0,42	0,41	0,43
<b>T3</b>	0,49	0,63	0,58	0,58	0,45	0,54
<b>T4</b>	0,44	0,69	0,46	0,41	0,24	0,37
<b>T5</b>	0,55	0,80	0,53	0,52	0,43	0,49

Com relação à quantidade total do nutriente na planta (Tabela 32) observa-se pequena variação entre os tratamentos. Os tratamentos com menor estresse tenderam a ter uma maior quantidade de fósforo.

TABELA 32. QUANTIDADE TOTAL DE FÓSFORO (P) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg)

<b>Trat.</b>	<b>raiz</b>	<b>haste</b>	<b>folha</b>	<b>total</b>
<b>T1</b>	3,21	7,77	3,53	14,51
<b>T2</b>	2,54	7,04	4,00	13,58
<b>T3</b>	2,74	6,11	4,70	13,55
<b>T4</b>	2,24	6,49	2,52	11,25
<b>T5</b>	2,75	7,04	3,38	13,17

#### 4.3.2.3 Potássio (K)

Os resultados de K encontrados (Tabela 33) estão abaixo dos valores recomendados por MALAVOLTA *et al.* (1967) : 0,55; 0,75; 0,95 e 1,13 para raiz, haste, folha basal e folha apical, respectivamente. A mobilidade do K na planta, principalmente entre as folhas, se mostrou indefinida não apresentando uma tendência crescente ou decrescente em função da posição na haste. Este fato pode ser explicado pela amostragem ter considerado a folha mediana como sendo a basal, em função da queda de folhas durante a rustificação.

TABELA 33. CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO (K) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
<b>T1</b>	0,20	0,40	0,45	0,45	0,46	0,45
<b>T2</b>	0,18	0,33	0,45	0,48	0,40	0,44
<b>T3</b>	0,19	0,34	0,51	0,53	0,40	0,48
<b>T4</b>	0,15	0,45	0,52	0,47	0,19	0,39
<b>T5</b>	0,13	0,41	0,39	0,58	0,45	0,47

Como observado na Tabela 34, a quantidade total de K na planta foi menor quanto maior o estresse hídrico. Esses resultados estão mais relacionados com a matéria seca total estabelecida por cada tratamento do que com a variação de concentração do elemento na planta. Quando comparado

com o teor no substrato (Tabela 21), verifica-se que a relação foi inversa, ou seja, quanto menor a tensão de retenção de água no substrato, menor foi o teor de K. Isto sugere a importância do K na abertura e fechamento dos estômatos.

TABELA 34. QUANTIDADE TOTAL DE POTÁSSIO (K) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg)

Trat.	raiz	haste	folha	total
<b>T1</b>	1,02	4,44	3,78	9,24
<b>T2</b>	1,06	3,63	4,09	8,78
<b>T3</b>	1,06	3,30	4,18	8,54
<b>T4</b>	0,77	4,23	2,65	7,65
<b>T5</b>	0,65	3,61	3,24	7,50

#### 4.3.2.4 Cálcio (Ca)

Os valores da concentração de Ca encontrados (Tabela 35) mostram um bom suprimento deste nutriente para as plantas já que os valores de referência (MALAVOLTA *et al.*, 1967) são inferiores (0,22; 0,24 e 0,30 para raiz, haste e folha, respectivamente). O percentual médio de Ca nas folhas teve pouca variação entre os tratamentos. À exceção do tratamento T1 os demais tratamentos apresentaram valores decrescentes de Ca nas folhas no sentido base-ápice, mostrando a imobilidade do Ca na planta.

TABELA 35. CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
<b>T1</b>	0,23	0,24	0,33	0,29	0,38	0,33
<b>T2</b>	0,19	0,18	0,46	0,38	0,24	0,36
<b>T3</b>	0,31	0,24	0,42	0,35	0,21	0,33
<b>T4</b>	0,24	0,42	0,48	0,35	0,06	0,30
<b>T5</b>	0,35	0,33	0,42	0,34	0,24	0,33

Com relação à quantidade total do Ca na planta (Tabela 36) verifica-se que os resultados não se correlacionaram com o nível de estresse sofrido pelas mudas.

TABELA 36. QUANTIDADE TOTAL DE CÁLCIO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg)

Trat.	raiz	haste	folha	total
<b>T1</b>	1,17	2,66	2,77	6,60
<b>T2</b>	1,12	1,98	3,35	6,45
<b>T3</b>	1,74	2,33	2,87	6,94
<b>T4</b>	1,22	3,95	2,04	7,21
<b>T5</b>	1,75	2,90	2,28	6,93



#### 4.3.2.5 Magnésio (Mg)

Através da Tabela 37, verifica-se que a concentração de Mg na raiz é bastante alta quando comparada ao valor encontrado por MALAVOLTA *et al.* (1967) (0,28). Para a haste, os valores encontrados estão próximos do relatado (0,20) e, na folha, a concentração deste nutriente está um pouco abaixo da referência (0,43), com exceção do tratamento T4, que apresenta o mesmo valor. A respeito da translocação do Mg nas folhas, observa-se que, com exceção de T3 e T5, os demais tratamentos tiveram uma maior concentração desse nutriente nas folhas apicais, mostrando que o Mg é móvel na planta. O resultado de T3 (valor semelhante para folha basal e apical) pode ser explicado pela amostragem ter considerado a folha mediana como sendo a basal. No caso de T5, o fato da concentração maior estar na folha basal pode significar que o estresse hídrico sofrido por essas plantas prejudicou a translocação do nutriente.

TABELA 37. CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (%)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
<b>T1</b>	1,12	0,24	0,29	0,33	0,37	0,33
<b>T2</b>	0,70	0,16	0,27	0,29	0,36	0,31
<b>T3</b>	0,95	0,15	0,36	0,34	0,36	0,35
<b>T4</b>	0,73	0,20	0,36	0,37	0,55	0,43
<b>T5</b>	0,87	0,22	0,45	0,34	0,43	0,41

De acordo com a Tabela 38, a quantidade total de Mg foi maior nas plantas do tratamento T1, não variando muito entre os demais tratamentos.

TABELA 38. QUANTIDADE TOTAL DE MAGNÉSIO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (mg)

Trat.	raiz	haste	folha	total
T1	5,71	2,66	2,77	11,14
T2	4,13	1,76	2,88	8,77
T3	5,32	1,46	3,05	9,83
T4	3,72	1,88	2,92	8,52
T5	4,35	1,94	2,83	9,12

#### 4.3.2.6 Ferro (Fe)

A Tabela 39 mostra a concentração de ferro na planta. Um resultado que chama bastante a atenção é o da raiz, sendo cerca de 10 vezes superior à encontrada por MALAVOLTA *et al.*, 1967 que foi de 310 ppm. É sabido que os fosfatos precipitam o ferro na região da raiz, o que pode ter realmente ocorrido pela alta concentração de fósforo que se tem no substrato (Tabela 24). Os demais resultados também são maiores, porém não tão distantes. Os dados encontrados por MALAVOLTA *et al.* (1967) são : 45 ppm para a haste, 310 ppm para as folhas basais, 164 ppm para as folhas apicais. A Tabela também mostra

que este nutriente não se acumula nas folhas mais novas. Conforme observado, o Fe apresentou uma concentração decrescente no sentido folha basal-apical.

TABELA 39. CONCENTRAÇÃO DE FERRO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
T1	3340	67	452	407	314	391
T2	2640	103	483	436	309	409
T3	3420	105	464	439	301	401
T4	2700	114	510	428	279	406
T5	4080	133	491	444	322	419

Com relação ao total de Fe na planta (Tabela 40), observa-se que a quantidade deste nutriente não teve relação com o nível de estresse sofrido pela planta.

TABELA 40. QUANTIDADE TOTAL DE FERRO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ )

Trat.	raiz	haste	folha	total
T1	17034	744	3284	21062
T2	15576	1133	3804	20513
T3	19152	1019	3489	23660
T4	13770	1072	2761	17603
T5	20400	1170	2891	24461

#### 4.3.2.7 Zinco (Zn)

A Tabela 41 mostra uma concentração bastante elevada de zinco na planta, principalmente na haste e na raiz, cerca de 10 vezes superior quando comparado com os valores encontrados por MALAVOLTA *et al.* (1967). A precipitação do zinco no solo com a aplicação de altas dosagens de fosfatos é bastante conhecida, o que poderia ser uma justificativa para os elevados teores de zinco na raiz, principalmente. A concentração do Zn não esteve relacionada com o nível de estresse sofrido pela planta. A translocação desse nutriente nas folhas não seguiu uma tendência em todos os tratamentos.

TABELA 41. CONCENTRAÇÃO DE ZINCO (Zn) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
<b>T1</b>	257	34	34	40	49	41
<b>T2</b>	166	28	29	39	31	33
<b>T3</b>	182	31	36	34	38	36
<b>T4</b>	173	32	40	31	41	37
<b>T5</b>	209	31	53	29	48	43

Com relação à quantidade total do Zn na planta, observa-se pela Tabela 42 que o tratamento de menor estresse (T1) obteve o maior valor, mas não seguiu a tendência decrescente em função do aumento do estresse.

TABELA 42. QUANTIDADE TOTAL DE ZINCO NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ )

Trat.	raiz	haste	folha	total
T1	1311	377	344	2032
T2	979	308	307	1594
T3	1019	301	313	1633
T4	882	301	252	1435
T5	1045	273	297	1615

#### 4.3.2.8 Cobre (Cu)

Os resultados obtidos sobre a concentração de cobre na planta (Tabela 43) mostram uma deficiência desse nutriente, já que os valores de MALAVOLTA *et al.* (1967) são de 17 para haste, 17 para folhas basais e 12 para média foliar. Através da mesma Tabela, verifica-se que a concentração do cobre foi maior nas folhas apicais em todos os tratamentos, mas quanto maior o estresse menor foi a diferença entre os valores das folhas basais e apicais, mostrando mais uma vez a influência do déficit hídrico na translocação dos nutrientes, principalmente os considerados móveis dentro da planta.

TABELA 43. CONCENTRAÇÃO DE COBRE NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
T1	16	5	5	9	10	8
T2	13	5	4	6	9	6
T3	14	4	4	7	10	7
T4	11	5	4	7	7	6
T5	15	5	7	7	11	8

A Tabela 44 mostra que a quantidade de cobre total na planta foi maior, quanto menor o estresse hídrico sofrido, tendo uma inversão de valores entre T4 e T5.

TABELA 44. QUANTIDADE TOTAL DE COBRE NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ )

Trat.	raiz	haste	folha	total
T1	82	56	67	205
T2	77	55	56	188
T3	80	39	61	180
T4	56	47	41	144
T5	75	44	55	174

#### 4.3.2.9 Manganês (Mn)

Pela Tabela 45, verifica-se que o manganês se concentrou nas folhas basais, já que este nutriente é considerado de baixa mobilidade na planta.

TABELA 45. CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm)

<b>Trat.</b>	<b>raiz</b>	<b>haste</b>	<b>folha basal</b>	<b>folha mediana</b>	<b>folha apical</b>	<b>média foliar</b>
<b>T1</b>	95	89	451	417	364	411
<b>T2</b>	62	89	523	374	316	404
<b>T3</b>	82	51	537	361	286	395
<b>T4</b>	73	116	532	397	307	412
<b>T5</b>	81	118	484	412	351	416

Conforme a Tabela 46, verifica-se que a quantidade total de Mn na planta foi maior para os tratamentos de pouco estresse hídrico (T1 e T2), embora o tratamento T3 (nível intermediário de estresse) não apresentou valores muito diferentes daqueles com maior estresse (T4 e T5). Com relação aos valores de Mn encontrados nas diferentes partes da planta, observa-se que na haste as quantidades maiores foram encontradas nos tratamentos de maior estresse (T4 e T5) e nas folhas foram os tratamentos com menor estresse hídrico que tiveram as maiores quantidades de manganês.

TABELA 46. QUANTIDADE TOTAL DE MANGANÊS NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ )

Trat.	raiz	haste	folha	total
<b>T1</b>	485	988	3452	4925
<b>T2</b>	366	979	3757	5102
<b>T3</b>	459	495	3437	4391
<b>T4</b>	372	1090	2802	4264
<b>T5</b>	405	1038	2870	4313

#### 4.3.2.10 Boro (B)

Através da Tabela 47, verifica-se que os valores de boro foram maiores nas folhas basais do que apicais, porém para o T2 esse fato se inverteu.

TABELA 47. CONCENTRAÇÃO DE BORO (B) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA (ppm)

Trat.	raiz	haste	folha basal	folha mediana	folha apical	média foliar
<b>T1</b>	10	4	9	5	6	7
<b>T2</b>	9	3	6	6	8	7
<b>T3</b>	8	4	7	5	5	6
<b>T4</b>	8	2	7	5	5	6
<b>T5</b>	8	4	8	3	7	6



Quando se analisa a quantidade total de boro na planta (Tabela 48), verifica-se que esse valor foi decrescente em função do aumento do nível de estresse hídrico, com inversão de valores entre T4 e T5. Esta inversão se deve à quantidade de boro na haste, sendo que o valor encontrado no tratamento T4 foi quase a metade do valor encontrado no tratamento T5. De uma forma geral, para todas as partes da planta, os maiores valores de boro foram encontrados nos tratamentos de menor estresse hídrico.

TABELA 48. QUANTIDADE TOTAL DE BORO (B) NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA ( $\mu\text{g}$ )

Trat.	raiz	haste	folha	total
T1	51,0	44,4	58,8	154,2
T2	53,1	33,0	65,1	151,2
T3	44,8	38,8	52,2	135,8
T4	40,8	18,8	40,8	100,4
T5	40,0	35,2	41,4	116,6

#### 4.4 SOBREVIVÊNCIA NO CAMPO

A sobrevivência das mudas no campo reflete a capacidade da planta em adaptar-se a condições pouco favoráveis. Se durante a fase de produção dessas mudas elas forem submetidas a estresses e, como consequência, desenvolverem mecanismos para suportá-los, quando levadas ao campo terão

maior probabilidade de obter sucesso em seu estabelecimento. Infelizmente, devido a problemas técnicos ocorridos durante a instalação do experimento no campo (já mencionado), os dados obtidos não foram suficientes para se chegar a uma conclusão, estatisticamente adequada, pois das 8 repetições instaladas apenas 3 foram avaliadas, já que as demais foram perdidas. Porém, os dados obtidos mostram uma tendência clara da relação entre rusticidade e sobrevivência.

Através da Tabela 49, observa-se que houve realmente uma tendência das plantas mais estressadas (T4 e T5) apresentarem maior sobrevivência no campo. Enquanto as mudas mais estressadas (T5) tiveram uma sobrevivência média de 85%, as mudas produzidas sem estresse hídrico tiveram 25% de sobrevivência.

TABELA 49. SOBREVIVÊNCIA DAS MUDAS NO CAMPO, 2 MESES APÓS O PLANTIO

Trat.	% média de sobrevivência
T1	25,7 b
T2	52,8 ab
T3	63,1 ab
T4	78,5 a
T5	85,4 a

\* médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
C.V. = 25,94

Analisando a transpiração (Tabela 18) e a sobrevivência (Tabela 49) pode-se constatar que esses dois parâmetros estão inversamente correlacionados. Mudanças com menor transpiração no viveiro (mais estressadas durante a fase de rustificação) apresentaram maior sobrevivência no campo.

De acordo com KOPPENAAL *et al.* (1991), o estresse hídrico induziu um acúmulo de carboidratos nas raízes de *Pinus banksiana* e nas raízes e parte aérea de *Picea glauca*. Este estudo demonstrou que a capacidade de acumular solutos orgânicos varia de espécie para espécie e de tipo de tecido. O acúmulo de solutos orgânicos, primeiramente em raízes de *Pinus banksiana*, e em menor extensão na parte aérea e raízes de *Picea glauca* durante um ciclo de seca, sugerem uma capacidade de resposta rápida ao déficit hídrico. Assim, essa capacidade contribuiu para a manutenção de turgor e para o crescimento de raízes sob déficit hídrico, e potencialmente maior exploração de reservas de água no solo. O acúmulo de carboidratos induzido pelo pré-condicionamento ao estresse hídrico pode aumentar a tolerância à seca e assim melhorar o desempenho dessas mudas no campo.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que :

- a) o regime hídrico influenciou a qualidade da muda, pois atuou diferenciando as características morfológicas e fisiológicas da planta;
- b) características fisiológicas, principalmente a transpiração, devem fazer parte dos parâmetros para avaliar a qualidade da muda, já que se mostrou relacionada com a sobrevivência no campo;
- c) o estresse hídrico, durante a fase de rustificação, provocou uma série de modificações na morfologia e fisiologia da muda, implicando na eficiência do uso de água pela planta;
- d) com o aumento do estresse hídrico, as mudas tiveram menor altura da parte aérea, menor peso de matéria verde e peso de matéria seca da parte aérea e radicial, menor peso total de matéria verde e peso total de matéria seca, e menor área foliar;
- e) com o aumento do estresse hídrico, as mudas tiveram sua transpiração bastante inferior àquelas pouco estressadas;
- f) existem evidências que as plantas mais rustificadas apresentam maior sobrevivência no campo;
- g) o estresse hídrico não influenciou o teor de clorofila nas folhas ;
- h) o teor de clorofila nas folhas apresenta valores decrescentes no sentido parte basal para parte mediana ;
- i) os tratamentos submetidos à tensão de retenção de água pelo substrato até -0,5 MPa, apresentaram tensões foliares médias superiores às tensões que os

substratos estavam sendo submetidos, a partir de uma tensão de -1,5 MPa (tratamento T5), o valor médio de tensão foliar foi inferior à tensão que o substrato foi submetido;

- j) a movimentação dos sais dentro do substrato foi influenciada pelos tratamentos hídricos;
- k) para a maioria dos nutrientes, houve acúmulo no substrato da parte superior do tubete;
- l) os tratamentos de déficit hídrico não provocaram alterações significantes nas concentrações de nutrientes nas folhas;
- m) a variação que ocorreu na quantidade total de nutrientes na planta nos diferentes tratamentos esteve relacionada ao peso da matéria seca;
- n) o manejo hídrico que proporcionou maior estresse à muda provocou uma série de modificações morfofisiológicas, resultando em mudas mais rústicas, e portanto, mais adaptadas, o que é comprovado pela maior sobrevivência destas mudas no campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora-Folha de Viçosa, 1990. 330p.
- 2 BLAKE, T. J.; SUITER FILHO, W. Drought tolerance, growth partitioning and vigor in eucalypt seedlings and rooted cuttings. **Tree Physiology**, v.4, p.325-335, 1988.
- 3 BRASIL. Ministério da Agricultura e reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília : SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.
- 4 BRIX, H. Effects of plant stress on photosynthesis and survival of four conifers. **Soils and Fertilizers**, v.48, p.1112, 1985.
- 5 CARNEIRO, J. G. A. **Determinação do padrão de qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. para plantio definitivo**. Curitiba, 1976. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 6 CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba : UFPR/FUPEF; Campos ; UENF, 1995. 451 p.
- 7 CLEMENS, J.; JONES, P.G. Modification of drought resistance by water stress conditioning in *Acacia* and *Eucalyptus*. **Journal of Experimental Botany**, v.29, n.111, p. 895-904, 1978.
- 8 COOL, J. B.; RODRIGO, G. N.; GARCÍA, B. S.; TAMÉS, R. S. **Fisiología Vegetal**. 6.ed. Madrid: Ediciones Pirámide, 1992. 865 p.
- 9 CORREIA, M.J.; TORRES, F.; PEREIRA, J.S. Water and nutrient supply regimes and the water relations of juvenile leaves of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.5, p. 459-471, 1989.
- 10 DONALD, D.G.M. The philosophy behind nursery practice in Southern Africa. **South African Forestry Journal**, v.99, p.30-34, 1976.
- 11a FARRELL, R.C.C.; BELL, D.T.; AKILAN, K.; MARSHALL, J.K. Morphological and physiological comparisons of clonal lines of *Eucalyptus*

- camaldulensis*. I. Responses to drought and waterlogging. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.23, n. 4, p. 497-507, 1996.
- 11b FARRELL, R.C.C.; BELL, D.T.; AKILAN, K.; MARSHALL, J.K. Morphological and physiological comparisons of clonal lines of *Eucalyptus camaldulensis*. II. Responses to waterlogging/salinity and alkalinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.23, n. 4, p. 509-518, 1996.
- 12 GIBSON, A.; HUBICK, K.T.; BACHELARD, E.P. Effects of abscisic acid on morphological and physiological responses to water stress in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.18, n. 2, p. 153-163, 1991.
- 13 GUERREIRO, C.A., COLLI JÚNIOR, G. Controle de qualidade de mudas de *Eucalyptus* spp. na Champion Papel e Celulose S.A. In : **Simpósio Internacional Métodos de Produção e Controle de Qualidade de Sementes e Mudas Florestais**. Curitiba : Universidade Federal do Paraná/FUPEF, 1984, p. 127-133.
- 14 INOUE, M. T. ; RIBEIRO, F. A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v.40, p.15-20, 1988.
- 15 KAUL, O.N.; NEGI, J.D.S. Comparative transpiration rates of six *Eucalyptus* species. **Indian Forester**, p.500-508, 1979.
- 16 KIRSCHBAUM, M. U.F. Water stress in *Eucalyptus pauciflora*: comparison of effects on stomatal conductance with effects on the mesophyll capacity for photosynthesis, and investigation of a possible involvement of photoinhibition. **Planta**, v.171, p.466-473, 1987.
- 17 KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.
- 18 KOPPENAAL, R.S.; TSCHAPLINSKI, T.J.; COLOMBO, S.J. Carbohydrate accumulation and turgor maintenance in seedling shoots and roots of two boreal conifers subjected to water stress. **Canadian Journal of Botany**, v.69, p.2522-2528, 1991.
- 19 KRAMER, P. J. The role of water in tree growth. In: KOZLOWSKI, T. **Tree growth**. 1962, p.171-182.
- 20 KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. Orlando : Academic Press, 1983.

- 21 KRAMER, P.J., KOZLOWSKI, T. **Physiology of trees**. Tradução : GOMES, A.M.A. Fisiologia das árvores. 1960. 745 p.
- 22 KUDREV, T. G. **Água: vida das plantas**. Tradução : REZENDE, José Glicério. São Paulo :Ícone, 1994. 178 p.
- 23 LANDIS, T.D. Irrigation and water management. In: LANDIS, T.D. et al. **The container tree nursery manual**. Forest Service, v.4, p.69-118, 1989.
- 24 LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993.
- 25 LIMA, W. P. Impactos da cultura do eucalipto. **Revista Silvicultura**, n.64, p. 32-38, nov./dez. 1995.
- 26 MALAVOLTA, E. et al. **Nutrição mineral de algumas culturas tropicais**. São Paulo : Editora da Universidade de São Paulo, 1967. p. 171-191.
- 27 McDONALD, S.E.; RUNNING, S. W. Monitoring irrigation in western forest tree nurseries. In: LANDIS, T.D et al. **Seedling nutrition and irrigation - the container tree nursery manual**, USDA-Forest Service. Handbook 674, v.4, p.1-8. 1988.
- 28 MENZIES, M.I. Seedling quality and seedling specifications of radiata pine. **Forestry Abstracts**, v.53, p.1196, 1992.
- 29 MYERS, B. A.; NEALES, T.F. Osmotic adjustment, induced by drought, in seedlings of three *Eucalyptus* species. **Australian Journal Plant Physiol.**, v.13, p.597-603, 1986.
- 30 MYERS. B.J., LANDSBERG, J.J. Water stress and seedling growth of two eucalypt species from contrasting habitats. **Tree Physiology**, v.5, p.207-218, 1989.
- 31 OLIVA, M.A.; BARROS, N.F.; GOMES, M.M.S.; LOPES, N.F. The development of dieback symptoms in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings as related to moisture stress and mineral nutrition. Viçosa - MG. **Revista Árvore**, v. 13, n.1, p. 19-33, 1989.
- 32 PAHLICH, E. Larcher's definition of plant stress: a valuable principle for metabolic adaptability research. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.5, n.2, p.209-216, 1993.



- 33 PALLARDY, S.G. Introductory overview. In: HENNESSEY, T.C. et al. **Stress physiology and forest productivity**, 1986, p. 1-8.
- 34 PEREIRA, J.S.; KOZLOWSKI, T.T. Leaf anatomy and water relations of *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus globulus* seedlings. **Canadian Journal of Botany**, v.54, n.24, p.2868-2880, 1976.
- 35 PEREIRA, J.S.; CHAVES, M.M.; FONSECA, F. et al. Photosynthetic capacity of leaves of *Eucalyptus globulus* (Labill.) growing in the field with different nutrient and water supplies. **Tree Physiology**, v.11, p.381-389, 1992.
- 36 RAWAT, P.S.; GUPTA, B.B.; RAWAT, J.S. Transpiration as affected by soil moisture in *Eucalyptus tereticornis* seedlings. **Indian Forester**, v.110, n.1, p. 35-39, 1984.
- 37 RAWAT, P.S.; NEGI, D.S.; RAWAT, J.S.; GURUMURTI, K. Transpiration, stomatal behaviour and growth of *Eucalyptus* hybrid seedlings under different soil moisture levels. **Indian Forester**, v. 111, n.12, p.1097-1112, 1985.
- 38 SASSE, J.; SANDS, R.; WHITEHEAD, D.; KELLIHER, F.M. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, v.16, p.287-294, 1996.
- 39 SEILER, J.R. Morphological and physiological changes in black alder induced by water stress. **Soil and Fertilizers**, v.48, p.964, 1985.
- 40 SEILER, J.R.; JOHNSON, J.D. Physiological and morphological responses of three Half-Sib families of loblolly pine to water-stress conditioning. **Forest Science**, v.34, p.487-493, 1988.
- 41 SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí e Centrais Elétricas do Estado de São Paulo. 61p, 1966.
- 42 STONEMAN, G.L.; TURNER, N.C.; DELL, B. Leaf growth, photosynthesis and tissue water relations of greenhouse-grown *Eucalyptus marginata* seedlings in response to water deficits. **Tree Physiology**, v.14, p.633-646, 1994.

- 43 TESKEY, R.O., HINCKLEY, T.M. Moisture: effects of water stress on trees. In: HENNESSEY, T.C. et al. **Stress physiology and forest productivity**. p. 9-34, 1986.
- 44 WANG, D.; BACHELARD, E.P.; BANKS, J.C.G. Growth and water relations of seedlings of two subspecies of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.4, p. 129-138, 1988.
- 45 WINTER, E.J. **A água, o solo e a planta**. Tradução: REICHARDT, K., LIBARDI, P.L. 2. ed. São Paulo, 1984. 170p.